



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Análisis de las técnicas de Multiplexación por división de longitud de onda (WDM) y su simulación mediante el software OptiSystem.

Autor

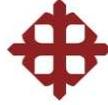
Ing. Jimmy Francisco Sánchez Herrera

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de
Magister en Telecomunicaciones

TUTOR:

MSc. Manuel Romero Paz

Guayaquil, 4 de marzo del 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Ing. Jimmy Francisco Sánchez Herrera como requerimiento parcial para la obtención del Título de Magíster en Telecomunicaciones.

TUTOR

MSc. Manuel Romero Paz

DIRECTOR DEL PROGRAMA

MSc. Manuel Romero Paz

Guayaquil, 4 de marzo del 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Jimmy Francisco Sánchez Herrera

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación: **“Análisis de las técnicas de Multiplexación por división de longitud de onda (WDM) y su simulación mediante el software OptiSystem.”**, previo a la obtención del Título de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 4 de marzo del 2020

EL AUTOR

Jimmy Francisco Sánchez Herrera



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Jimmy Francisco Sánchez Herrera**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Análisis de las técnicas de Multiplexación por división de longitud de onda (WDM) y su simulación mediante el software Optisystem.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 4 de marzo del 2020

EL AUTOR

Jimmy Francisco Sánchez Herrera

REPORTE URKUND

The screenshot displays the URKUND web interface. The browser address bar shows the URL: <https://secure.arkund.com/s4/View/1903E37-6F0396-4348F196E7C04dCA09a2b8P23E8VhZDq-sIKX97Q/P3WluwPHNDgjaWetjCAVd8g2sR7WQD7YdL.Cmq7UQm>.

URKUND

Documento: [11_Jenny_Sanchez.docx](#) (04/09/04)

Presentado: 2020-02-12 (11:01) (05:00)

Presentado por: Luis Córdoba Rivas (luis_cordoba@yaho.com)

Recibido: luis.cordoba.luc@analisis.arkund.com

de estas 26 páginas, se componen de texto presentado en 7 fuentes.

Lista de fuentes:

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	https://www.buho.com/urkund.pdf.us?source=web-f-1903E37-6F0396-4348F196E7C04dCA09a2b8P23E8VhZDq-sIKX97Q/P3WluwPHNDgjaWetjCAVd8g2sR7WQD7YdL.Cmq7UQm
	Agencia_España_fiscal.docx
	Buenavista_Telma_vf.docx
	https://www.buho.com/urkund.pdf.us?source=web-f-1903E37-6F0396-4348F196E7C04dCA09a2b8P23E8VhZDq-sIKX97Q/P3WluwPHNDgjaWetjCAVd8g2sR7WQD7YdL.Cmq7UQm
	SIMULACION DE UN SISTEMA DIFERENCIAL EN UNA RED OPTICA A TRAVES DEL SOFTWARE
	Teña final.docx
	https://www.iberdrola.es/2010/02/04/la-energia-se-ha-convertido-en-sistema-de-transporte-de-datos/

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO EN TELECOMUNICACIONES

TEMA: Análisis de las técnicas de Multiplexación por división de longitud de onda (DWDM) y su aplicación práctica en el

software OptSystem. Autor: Ing. Jimmy Francisco Sánchez Herrera

Trabajo de titulación previa a la obtención del grado de Magister en Telecomunicaciones

TUTOR:

MSc. Manuel Romero Pizar

Guayaquil, 11 de noviembre de 2011

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO EN TELECOMUNICACIONES

TELECOMUNICACIONES

INFORMACIÓN Certificamos que el presente trabajo ha sido realizado de forma íntegra por el/los alumno/s

DEDICATORIA

Este trabajo dedico a mi hermosa familia: mi esposa Mary, mis hijos Joshue y Mateo quienes están todo el tiempo en mi corazón.

A mis padres José y Magda, que me han brindado su amor y apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradecer en primer lugar a Dios de quien es toda la gloria y honra.

Agradecer a mis padres y familiares que siempre me han estado apoyando y dando ánimos para culminar esta importante etapa de estudios.

Agradecer a mi esposa e hijos que tuvieron que sacrificar tiempo junto a mí con el objetivo de culminar satisfactoriamente mis estudios.

Agradecer a mi amigo y compañero de trabajo Ing. Ricardo Agila, por su apoyo y colaboración constante.

Un agradecimiento especial al personal docente de la UCSG, director de la carrera y tutor por la colaboración en el presente trabajo de titulación.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

MSc. Manuel Romero Paz

TUTOR

f. _____

MSc. Manuel Romero Paz

DIRECTOR DEL PROGRAMA

f. _____

MSc. Miguel Heras Sánchez

REVISOR

f. _____

MSc. Luis Córdova Rivadeneira

REVISOR

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	3
1.5 OBJETO	4
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.5.2 HIPÓTESIS	4
CAPÍTULO 2. MÉTODOS DE MULTIPLEXACIÓN	5
2.1 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA – FDM.....	5
2.2 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO – TDM.....	7
2.3 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA - WDM	7
2.3.1 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN APROXIMADA DE LONGITUD DE ONDA – CWDM.....	9
2.3.2 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA DENSA - DWDM ..	12
2.3.3 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA ULTRA DENSA - UDWDM	16
2.4 LÍMITES DE ANCHO DE BANDA.....	19
2.5 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	19
2.5.1 BER (BIT ERROR RATE).	20
2.5.2 DIAGRAMA DE OJO.....	21
2.5.3 OSNR. -.....	21
2.5.4 FACTOR Q.-.....	21

CAPITULO 3. SIMULACIÓN EN OPTISYSTEM.....	22
3.1 GENERALIDADES DE LA SIMULACIÓN.....	22
3.2 COMPONENTES DE LA SIMULACIÓN.....	23
3.2.1 TRANSMISOR ÓPTICO.....	23
3.2.2 MULTIPLEXOR ÓPTICO.....	24
3.2.3 MEDIO DE TRANSMISIÓN.....	25
3.2.4 DEMULTIPLEXOR ÓPTICO.....	27
3.2.5 ETAPA DE RECEPCIÓN.....	27
CAPITULO 4. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....	31
4.1 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CWDM.....	31
4.1.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS CWDM.....	34
4.2 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DWDM.....	34
4.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA DWDM.....	37
4.3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN UDWDM.....	38
4.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA UDWDM.....	41
CONCLUSIONES.....	42
RECOMENDACIONES.....	43
BIBLIOGRAFÍA.....	44
GLOSARIO.....	46
ANEXOS.....	48

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Longitudes de onda nominales (nm) – CWDM.....	11
Tabla 2.2 Longitudes de onda nominales (nm) – DWDM.....	13
Tabla 2.3 Comparación de los métodos de Multiplexación WDM.....	18
Tabla 3.1 Escenarios de simulación con las diferentes técnicas de multiplexación.....	30
Tabla 4.1 Resultados de simulación de escenarios para CWDM con distancia de 80 Km y 2500 GHz de espaciado de canal.....	34
Tabla 4.2 Resultados de simulación de escenarios para DWDM con distancia de 80 Km y 100 GHz de espaciado de canal.....	37
Tabla 4.3 Resultados de simulación de escenarios para UDWDM con distancia de 80 Km y 12.5 GHz de espaciado de canal.....	41

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema de multiplexación por división de frecuencia – FDM	6
Figura 2.2. Separación en frecuencia de las señales multiplexadas mediante FDM.	6
Figura 2.3 Esquema de multiplexación por división de tiempo – TDM	7
Figura 2.4. Separación en el tiempo de las señales multiplexadas mediante TDM.....	7
Figura 2.5. Multiplexación por división de longitud de onda – WDM.....	8
Figura 2.6 Técnica CWDM	10
Figura 2.7 Técnica DWDM	12
Figura 2.8 Parámetros de tecnologías en redes PON.....	17
Figura 2.9 Técnica UDWDM de 320 canales	17
Figura 2.10. Espaciamiento entre canales DWDM y UDWDM	19
Figura 2.11 BER - Tasa de error de bit	20
Figura 3.1 Transmisor WDM.....	23
Figura 3.2 Multiplexor WDM.....	25
Figura 3.3 Medio de Transmisión SMF	25
Figura 3.4 Demultiplexor óptico.....	27
Figura 3.5 Etapa de recepción óptica.....	28
Figura 3.6 Analizador BER.....	28
Figura 3.7 Analizador de espectro óptico.....	29
Figura 3.8 Analizador WDM.....	29
Figura 3.9 Medidor de potencia óptica.....	29
Figura 4.1 Factor Q y patrón de ojo – Escenario 1a.....	31
Figura 4.2 Analizador WDM y Analizador de espectro – Escenario 1a.....	31
Figura 4.3 Potencia óptica – Escenario 1a.....	31
Figura 4.4 Factor Q y patrón de ojo – Escenario 1b.....	32
Figura 4.5 Analizador WDM y Analizador de espectro – Escenario 1b.....	32

Figura 4.6 Potencia óptica – Escenario 1b.....	32
Figura 4.7 Factor Q y patrón de ojo – Escenario 1c.....	33
Figura 4.8 Analizador WDM y Analizador de espectro – Escenario 1c.....	33
Figura 4.9 Potencia óptica – Escenario 1c.....	33
Figura 4.10 Factor Q y patrón de ojo – Escenario 2a.....	34
Figura 4.11 Analizador WDM y Analizador de espectro – Escenario 2a.....	35
Figura 4.12 Potencia óptica – Escenario 2a.....	35
Figura 4.13 Factor Q y patrón de ojo – Escenario 2b.....	35
Figura 4.14 Analizador WDM y Analizador de espectro – Escenario 2b	36
Figura 4.15 Potencia óptica – Escenario 2b.....	36
Figura 4.16 Factor Q y patrón de ojo – Escenario 2c.....	36
Figura 4.17 Analizador WDM y Analizador de espectro – Escenario 2c.....	37
Figura 4.18 Potencia óptica – Escenario 2c.....	37
Figura 4.19 Factor Q y patrón de ojo – Escenario 3a.....	38
Figura 4.20 Analizador WDM y Analizador de espectro – Escenario 3a.....	38
Figura 4.21 Potencia óptica – Escenario 3a.....	39
Figura 4.22 Factor Q y patrón de ojo – Escenario 3b.....	39
Figura 4.23 Analizador WDM y Analizador de espectro – Escenario 3b	39
Figura 4.24 Potencia óptica – Escenario 3b.....	40
Figura 4.25 Factor Q y patrón de ojo – Escenario 3c.....	40
Figura 4.26 Analizador WDM y Analizador de espectro – Escenario 3c	40
Figura 4.27 Potencia óptica – Escenario 3c.....	40

Resumen

El presente trabajo de titulación tiene por finalidad realizar el análisis de las técnicas de WDM (Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División de Longitud de Onda), y su posterior simulación. En primera instancia se realiza el estudio teórico de cada una de las técnicas como lo son: CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División Aproximada de Longitud de Onda), DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing, Multiplexado Denso por División en Longitudes de Onda) y UDWDM (Ultra-Dense Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División de Longitud de Onda Ultra Densa) mostrando sus ventajas y desventajas con lo cual se procede a realizar un cuadro comparativo de las mencionadas técnicas. Luego de ello se propone la simulación en Optisystem de distintos escenarios variando la separación entre canales que diferencia a estas técnicas, lo cual permite observar su comportamiento. Se obtienen los resultados para cada una de las técnicas de multiplexación y dependiendo de la aplicación requerida se utilizará en la práctica. Se observa en la etapa de resultados que UDWDM es la técnica que más se destaca debido a la menor separación de canales lo cual permite tener mayores longitudes de onda y por ende mayor ancho de banda del canal.

Palabras Claves: DWDM, CWDM, UDWDM, BER, SNR, OSNR.

Abstract

The purpose of this title work is to analyze the techniques of WDM (Wavelength Division Multiplexing), and its subsequent simulation. In the first instance, the theoretical study of each of the techniques will be carried out, such as: CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing), DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) and UDWDM (Ultra - Dense Wavelength Division Multiplexing) showing its advantages and disadvantages with which a comparative table of the aforementioned techniques is made. After that, the simulation in Optisystem of different scenarios is proposed, varying the separation between channels that differentiates these techniques, which allows observing their behavior. The results are obtained for each of the multiplexing techniques and depending on the required application it will be used in practice. It is observed in the results stage that UDWDM is the technique that stands out the most due to the lower separation of channels which allows for greater wavelengths and therefore greater channel bandwidth.

Keywords: DWDM, CWDM, UDWDM, BER, SNR, OSNR.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

Hoy en día la demanda de los servicios de telecomunicaciones tales como: internet de alta velocidad, sistemas streaming, video llamadas, telemedicina, IPTV (Internet Protocol Television), servicios que ofrecen almacenamiento en la nube, entre otros, se vuelven cada vez más rigurosos a medida que estos se despliegan, por sus requerimientos de alta calidad de la red y alta confiabilidad, el tráfico en las redes aumenta considerablemente.

Esto por lo tanto ha permitido desarrollar muchos estudios acerca de los medios de transmisión y el que más ha despuntado hoy en día es la red de fibra óptica, con la cual es posible establecer una comunicación utilizando un gran ancho de banda y velocidades de transmisión en el orden de Gbps (Gigabits por segundo), si bien la fibra óptica es el medio que permite transmitir la información, es el equipamiento el cual aprovecha sus ventajas, estos elementos en conjunto forman redes con gran ancho de banda y dependiendo de la tecnología que manejen los equipos, en algunos casos con el mismo hilo de fibra, logran aumentar la capacidad de transmisión, reduciendo costos e incluso espacio físico.

Para aprovechar de manera correcta y eficaz el medio óptico un factor importante es WDM (Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División de Longitud de Onda).

Esta técnica permite transmitir varias señales ópticas utilizando diferentes longitudes de onda, sobre el mismo canal o medio.

Existen varias técnicas de multiplexación hoy en día, que han ido evolucionando con el pasar del tiempo ya que las exigencias como AB (ancho de banda), han incrementado, es así que el presente trabajo se enfoca en realizar el estudio comparativo de tres técnicas de multiplexación: CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División Aproximada de Longitud de Onda), DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing, Multiplexado Denso por División en Longitudes de Onda) y UDWDM (Ultra- Dense Wavelength Division Multiplexing Passive Optical, Multiplexación por División de Longitud de Onda Ultra Densa Red Óptica Pasiva).

1.2 Antecedentes

A inicios de la década de los 80 se dio a conocer la técnica llamada WDM, la cual brinda la posibilidad de transmitir al mismo tiempo varias señales ópticas de diferentes longitudes de onda por un solo cable de fibra óptica, esto se debe a una división de canales en el medio de transmisión. A finales de la década de los 80 se desarrolló DWDM, y tiene la característica de utilizar dos longitudes de onda muy espaciadas 1310 nm y 1550 nm.

A mediados de los 90's, emergieron los sistemas DWDM de 16 a 40 canales con una separación entre ellos de 100 GHz y 200 GHz. A fines de los 90's, los sistemas DWDM evolucionaron, a tal punto que eran capaz de utilizar de 64 a 160 canales paralelos, empaquetados densamente a intervalos de 50 GHz.

Actualmente se han desarrollado estudios con UDWDM que involucra espaciamiento de canal de 1.25 – 2.5 – 5 – 10 hasta los 25 GHz llegando a transmitir hasta 1022 longitudes de onda por cada hilo de fibra óptica. (Rhebi & Najjar, 2017)

1.3 Planteamiento del problema

La necesidad de evaluar las técnicas de multiplexación WDM para redes de fibra óptica, así como su comportamiento en varios escenarios propuestos mediante la simulación en OptiSystem.

1.4 Justificación

El crecimiento de las telecomunicaciones ha sido increíble con la presencia de la fibra óptica, brindando muchos beneficios pero así mismo tiene su desventaja en los altos costos de los dispositivos de una red óptica, por lo que antes de una implementación que pueda ser costosa y deficiente se propone recurrir a programas informáticos especializados en la simulación de redes ópticas que permiten simular y verificar que el uso de ciertos dispositivos o tecnologías pueden dar un cambio en la mejora de los servicios.

En el presente proyecto se desarrolla el análisis de las técnicas WDM y su impacto en la transmisión de información, además de ello se realizará la simulación en el software llamado Optisystem, lo cual permitirá obtener datos en los distintos

escenarios que se proponen de tal manera que se pueda verificar su comportamiento.

1.5 Objeto

Redes de fibra óptica

1.5.1 Objetivo general

- Realizar el análisis de las técnicas de multiplexación por división de longitud de onda WDM y proceder a simular utilizando el software OptiSystem.

1.5.2 Objetivos específicos

- Realizar el estudio teórico de la multiplexación por división de longitud de onda.
- Diseñar los escenarios de simulación en el software OptiSystem.
- Analizar los resultados obtenidos en las simulaciones mediante los siguientes parámetros: Potencia, BER (Bit Error Rate, Tasa de Error Binario), SNR (Signal-to-Noise Ratio, Relación Señal a Ruido) y diagrama del ojo; tanto con CWDM, DWDM y UDWDM.

1.5.2 Hipótesis

El análisis de las técnicas WDM y su simulación permitirá conocer el comportamiento y desempeño de cada una de las técnicas de multiplexación en los diferentes escenarios propuestos.

1.6 Metodología de la Investigación

En el presente trabajo de titulación se realiza un enfoque cuantitativo, ya que para el diseño se utilizan variables para observar el comportamiento de cada técnica de multiplexación.

Es una investigación de tipo descriptiva, considerando que se realiza una descripción de las técnicas de multiplexación.

Es una investigación de tipo analítica, debido a que se analizarán los resultados obtenidos de las simulaciones con la finalidad de realizar un cuadro comparativo.

CAPÍTULO 2. MÉTODOS DE MULTIPLEXACIÓN

En el presente capítulo se va a describir la parte teórica de los métodos de multiplexación que son objeto de esta investigación.

En la actualidad la comunicación es una parte fundamental del diario vivir, por lo que la búsqueda de realizar dicha transmisión lo más eficiente posible ha sido una de los principales enfoques de las redes de telecomunicaciones, los cuales tienen por finalidad que el emisor y el receptor se enlacen y pueden entablar una comunicación.

De estas necesidades surgió la multiplexación, con la idea de explotar toda la capacidad que posee la red de fibra óptica, esta técnica hizo posible la transmisión simultánea de dos o más señales en un mismo canal, donde cada una de las señales tiene un receptor distinto y es necesario que la BER en el destinatario sea baja, es por ello que se desarrollaron varias formas de multiplexar, cada una especializada para ciertas condiciones tales como: la forma de la señal, el medio de transmisión e incluso la seguridad de la información que es transmitida por el medio.

Los métodos más comunes de multiplexación de señales son: FDM (Frequency Division Multiplexing, Multiplexación por División de Frecuencia), TDM (Time Division Multiplexing, Multiplexación por División de Tiempo) y WDM (Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División de Longitud de Onda).

Cada una de estas técnicas tiene su propia forma de operar tomando en cuenta el medio o la naturaleza de la señal, por lo que es posible mencionar que en ciertas condiciones es mejor una técnica que otra sin dejar de lado que la determinación de cuál es la mejor dependerá enteramente de las características con las que se esté trabajando.

2.1 Multiplexación por división de frecuencia – FDM

Con FDM las diversas señales, que deben ser de banda limitada, modulan portadoras distintas suficientemente separadas en frecuencia y se transmite la suma de todo ello.

La modulación supone una traslación del espectro de las señales. De esta manera las distintas señales, aunque simultáneas en el tiempo, quedan separadas desde el punto de vista frecuencial.

La recuperación, a la recepción, de las distintas señales originales (demultiplexación) se lleva a cabo mediante filtro pasa-banda y demoduladores. Puede decirse que la técnica FDM es básicamente analógica y que conlleva cierto costo y complejidad (la integración a gran escala de circuitos analógicos es más costosa que la de circuitos digitales). En la figura 2.1 se muestra el esquema de FDM, en sus etapas de transmisión y recepción de la información.

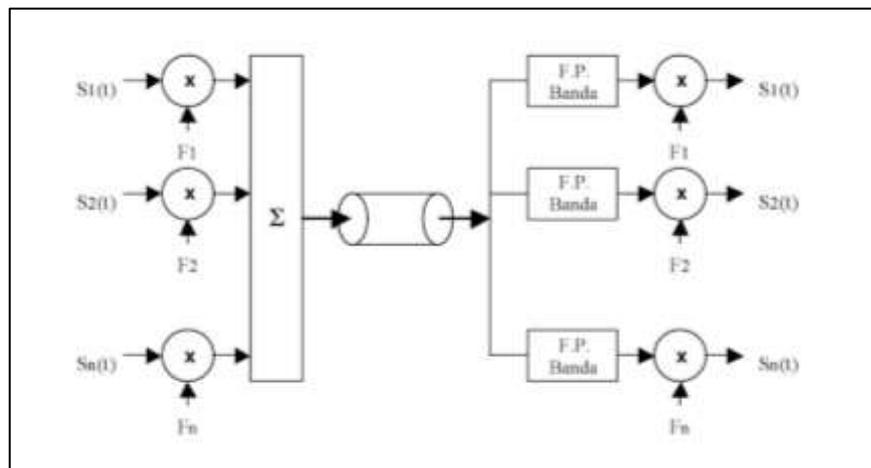


Figura 2.1. Esquema de multiplexación por división de frecuencia – FDM

Fuente: (Hesselbach & Altés, 2002)

En la figura 2.2 se muestra la separación de cada una de las señales con una frecuencia portadora única para cada señal transmitida.

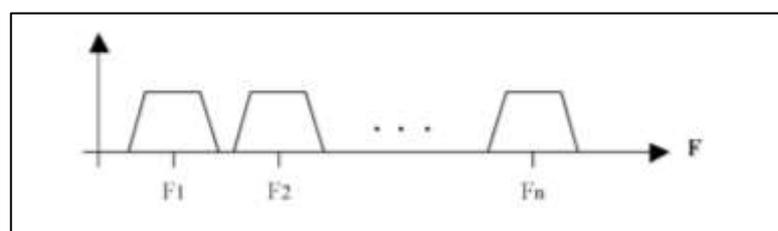


Figura 2.2. Separación en frecuencia de las señales multiplexadas mediante FDM.

Fuente: (Hesselbach & Altés, 2002)

2.2 Multiplexación por división de tiempo – TDM

Con la técnica TDM las diversas señales (digitales) se dividen en grupos de bits o bytes que se transmiten a mayor velocidad que la original, unos tras otros y siguiendo un proceso cíclico. En este caso cada una de las señales utiliza todo el ancho de banda disponible en el medio de transmisión, pero nunca coincidiendo en el tiempo.

Esta técnica de multiplexación es básicamente digital, su costo y complejidad son reducidos. Un ejemplo de utilización de técnicas TDM se encuentra en los enlaces troncales de alta velocidad en redes de área extensa de telefonía y el acceso a la RDSI (Red Digital de Servicios Integrados).

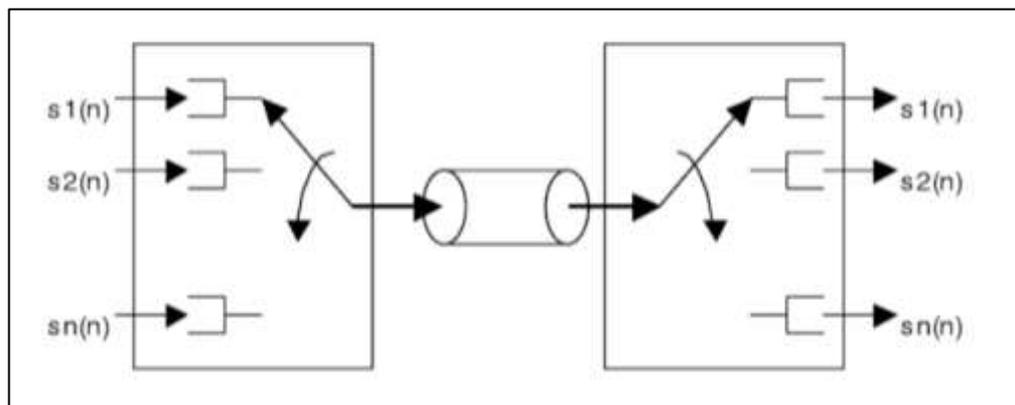


Figura 2.3 Esquema de multiplexación por división de tiempo – TDM

Fuente: (Hesselbach & Altés, 2002)

En la figura 2.4 se muestra la separación de cada señal en un espacio de tiempo diferente, en el cual hace uso de todo el ancho de banda del canal.

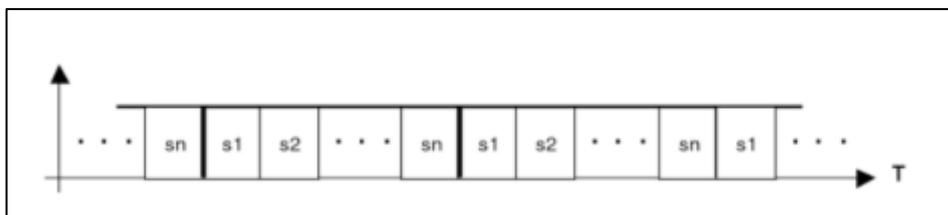


Figura 2.4. Separación en el tiempo de las señales multiplexadas mediante TDM.

Fuente: (Hesselbach & Altés, 2002)

2.3 Multiplexación por división de longitud de onda - WDM

La multiplexación por división de longitud de onda es una tecnología que permite transmitir varias señales independientes sobre una sola fibra óptica, mediante

portadoras ópticas de diferente longitud de onda, en la figura 2.5 se muestra el esquema general de WDM.

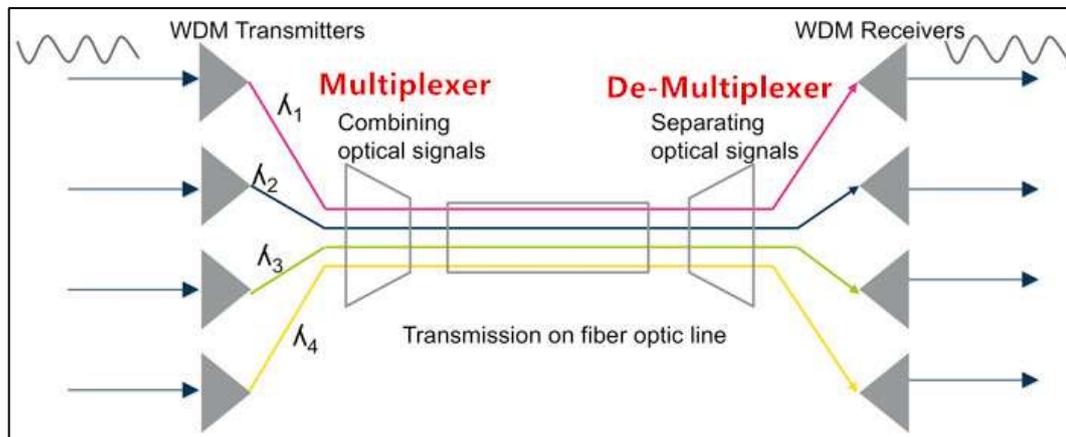


Figura 2.5. Multiplexación por división de longitud de onda – WDM

Fuente: (Fiberstore, 2017)

Los elementos que forman parte del esquema de la multiplexación por división de longitud de onda se detalla a continuación:

- Dispositivos de transmisión WDM.- dispositivos con los que los clientes dan inicio a la comunicación, cada uno operando a una longitud de onda diferente.
- Multiplexor.- Dispositivo de derivación con dos o más puertos de entrada y un puerto de salida, en el que la señal luminosa en cada puerto de entrada se limita a una gama de longitudes de onda previamente seleccionada y la salida es la combinación de las señales luminosas procedentes de los puertos de entrada (UIT-T G.694.1, 2002).
- Infraestructura física. - cable de fibra óptica.
- Demultiplexor de longitud de onda.- Dispositivo que lleva a cabo la operación inversa del multiplexor de longitud de onda, en el que la entrada es una señal óptica que comprende dos o más gamas de longitudes de onda y la salida de cada puerto es una gama de longitudes de onda preseleccionada distinta (UIT-T G.694.1, 2002).
- Dispositivos de recepción WDM.- dispositivo en el cliente final que recepta la información original.

Existen varias divisiones de este método WDM, entre los objetos de estudio de este proyecto están CWDM, DWDM y la más actual UDWDM.

La técnica de CWDM multiplexa una menor cantidad de longitudes de onda por canal de fibra óptica. En la técnica DWDM el espaciado entre longitudes de onda es de aproximadamente 1.6nm mientras que en la técnica del CWDM es de 20nm.

La técnica de DWDM es una de las más costosas ya que es necesario la implementación de equipos mucho más desarrollados, esto por el espaciamiento entre la longitud de onda de las señales. Los emisores deben ser mucho más finos para poder diferenciar las señales a transmitir. Además, no se permiten variaciones significativas ya que pueden causar la pérdida de información debido al acople de las señales.

En la actualidad, los sistemas de información desean enviar la mayor cantidad posible de datos a una mayor velocidad. El sistema de multiplexación mas actual es UDWDM, el cual permite utilizar al máximo la capacidad en el cable de fibra óptica ya que trabaja con una amplia gama de longitudes de onda y el espaciamiento entre estas es de 0.08nm, con lo cual se logra enviar una gran cantidad de información utilizando un solo canal de fibra óptica con la ventaja de que la velocidad a la cual opera es bastante alta (Montero, 2004).

A continuación se describe con mayor detalle cada una de las técnicas de multiplexación.

2.3.1 Multiplexación por división aproximada de longitud de onda – CWDM

CWDM, es una tecnología del tipo WDM, se caracteriza por un espacio más ancho entre canales que en la tecnología WDM densa, tal como se define en la Rec. UIT-T G.671. Los sistemas CWDM permiten aplicaciones rentables, gracias a una combinación de láser sin dispositivos de refrigeración, tolerancias de selección de longitudes de onda láser menos exigentes, y filtros pasa-banda amplios.

Los sistemas CWDM se pueden utilizar en las redes de transporte metropolitanas y como plataforma integrada para una diversidad de clientes, servicios y protocolos. En la figura 2.6 se observa la técnica de multiplexación CWDM, donde se ha

dividido el canal en 18 canales, con un espaciamiento de canal de 20nm, las cuales son transmitidas a través de un hilo de fibra óptica.

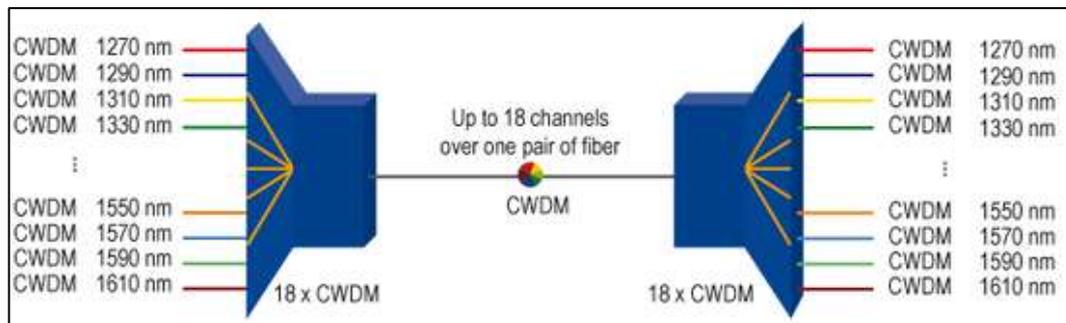


Figura 2.6 Técnica CWDM
Fuente: (Direkt, 2016)

Las longitudes de onda utilizables por los sistemas CWDM fueron estandarizadas por la ITU-T (International Telecommunication Union – Telecommunication sector) en el año 2002. La norma, denominada ITU-T G.694.2, se basa en una rejilla o separación de longitudes de onda de 20nm (o 2.500 GHz) en el rango de 1.270 a 1.610nm.

Por lo general, en CWDM se utilizan láseres de realimentación distribuida o DFB (Distributed Feed- Back) modulados directamente y soportando velocidades de canal de hasta 2,5Gbps sobre distancias de hasta 80km en el caso de utilizar fibra óptica G.652.

Longitudes de onda centrales nominales para sistemas con CWDM.

Se utilizan las longitudes de onda centrales nominales para sistemas con WDM aproximada como referencia para definir, en cada uno de los canales, el límite de longitud de onda superior y el límite de longitud de onda inferior, que son los que definen los límites de longitud de onda del transmisor bajo cualquier condición y, al mismo tiempo, los límites de longitud de onda que han de cumplir las especificaciones de multiplexadores y demultiplexadores ópticos.

El límite de longitud de onda superior es la longitud de onda central del canal más la desviación de longitud de onda central indicada en la recomendación que define la aplicación.

El límite de longitud de onda inferior es la longitud de onda central del canal menos la desviación de longitud de onda central indicada en la recomendación que define la aplicación.

En la tabla 2.1 se indica el plan de longitudes de onda CWDM en la gama que abarca de 1271nm a 1611nm. Se debe utilizar un valor "c" (velocidad de la luz en el vacío) para la conversión entre longitud de onda y frecuencia igual a $2,99792458 \times 10^8$ m/s (UIT-T G. , 2003).

Tabla 2.1 Longitudes de onda nominales (nm) - CWDM

Espaciamiento de 20nm
1271
1291
1311
1331
1351
1371
1391
1411
1431
1451
1471
1491
1511
1531
1551
1571
1591
1611

Fuente: (UIT-T G. , 2003)

Ventajas de CWDM

- Equipo pasivo que no utiliza energía eléctrica.
- No es necesaria ninguna configuración, mucho menor costo por canal que DWDM.
- Escalabilidad para aumentar la capacidad de la fibra según sea necesario.
- Con poco aumento de costo en la implementación de una red de fibra óptica operativa.
- Protocolo transparente y fácil de usar.

Desventajas de CWDM

- Los 18 canales pueden no ser suficientes, y el amplificador de fibra no se puede usar con ellos.
- Equipo pasivo que no tiene capacidades de gestión.
- No es la opción ideal para redes de larga distancia.

2.3.2 Multiplexación por división de longitud de onda densa - DWDM

DWDM una tecnología del tipo WDM, se caracteriza por un espaciado de canal menor que el de la tecnología WDM aproximada (CWDM), tal como se define en la Rec. UIT-T G.671. En general, los transmisores utilizados en las aplicaciones DWDM requieren un mecanismo de control que les permita cumplir con los requisitos de estabilidad de frecuencia de las aplicaciones, contrario a lo que ocurre con los transmisores CWDM que no lo necesitan.

El plan de frecuencias que se define en esta recomendación soporta diversos espaciados de canal que abarcan de 12,5GHz hasta 100GHz y espaciados mayores (múltiplos enteros de 100GHz). Asimismo, se pueden utilizar espaciados no uniformes entre canales.

El espaciado de frecuencia actual entre canales resulta de la evolución histórica del plan inicial de 100GHz, que se ha subdividido sucesivamente por factores de dos. Se muestra en la figura 2.7, el esquema de la técnica DWDM, dividido en 40 y 80 canales, y un espaciado de canal de 100 y 50GHz respectivamente.

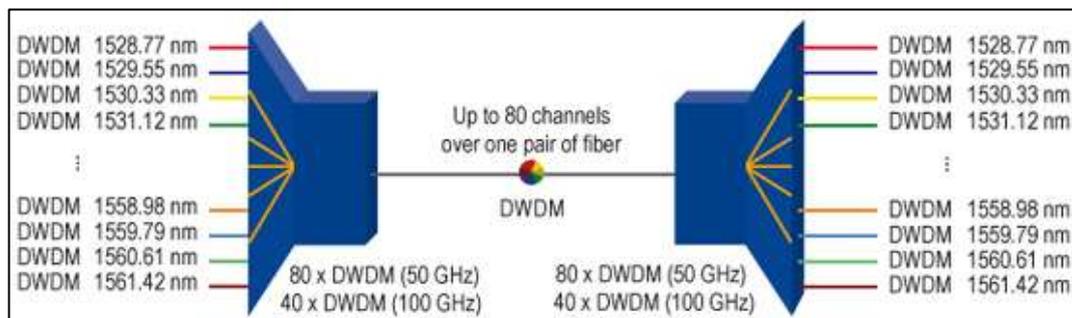


Figura 2.7 Técnica DWDM

Fuente: (Direkt, 2016)

Frecuencias centrales nominales para sistemas con WDM densa

Las frecuencias (en THz) permitidas, para espaciamientos de canales de 12,5GHz en una fibra, se definen de la siguiente manera:

$193,1 + n \times 0,0125$, donde n es un entero positivo o negativo incluido el 0.

Las frecuencias (en THz) permitidas, para espaciamientos de canales de 25GHz en una fibra, se definen de la siguiente manera:

$193,1 + n \times 0,025$, donde n es un entero positivo o negativo incluido el 0

Las frecuencias (en THz) permitidas, para espaciamientos de canales de 50GHz en una fibra, se definen de la siguiente manera:

$193,1 + n \times 0,05$, donde n es un entero positivo o negativo incluido el 0

Las frecuencias (en THz) permitidas, para espaciamientos de canales de 100GHz en una fibra, se definen de la siguiente manera:

$193,1 + n \times 0,1$, donde n es un entero positivo o negativo incluido el 0.

En la tabla 2.2 se indican algunas frecuencias centrales nominales en las bandas C y L, basadas en el espaciamiento de canal mínimo de 12,5GHz, referidas a una frecuencia de 193,1 THz.

Tabla 2.2 Longitudes de onda nominales (nm) – DWDM

Frecuencias centrales nominales THz para espaciamientos de:				Longitud de onda
12,5 GHz	25 GHz	50GHz	100GHz	λ (nm)
195,9375				1530,04
195,9250	195,9250			1530,14
195,9125				1530,24
195,9000	195,9000	195,9000	195,9000	1530,33
195,8875				1530,43
195,8750	195,8750			1530,53
195,8625				1530,63
195,8500	195,8500	195,8500		1530,72
195,8375				1530,82
195,8250	195,8250			1530,92
195,8125				1531,02
195,8000	195,8000	195,8000	195,8000	1531,12

195,7875				1531,21
195,7750	195,7750			1531,31
195,7625				1531,41
195,7500	195,7500	195,7500		1531,51
195,7375				1531,60
195,7250	195,7250			1531,70
195,7125				1531,80
195,7000	195,7000	195,7000	195,7000	1531,90
195,6875				1532,00
195,6750	195,6750			1532,09
195,6625				1532,19
195,6500	195,6500	195,6500		1532,29
195,6375				1532,39
195,6250	195,6250			1532,49
195,6125				1532,58
195,6000	195,6000	195,6000	195,6000	1532,68
195,5875				1532,78
195,5750	195,5750			1532,88
195,5625				1532,98
195,5500	195,5500	195,5500		1533,07
195,5375				1533,17
195,5250	195,5250			1533,27
195,5125				1533,37
195,5000	195,5000	195,5000	195,5000	1533,47
195,4875				1533,56
195,4750	195,4750			1533,66
195,4625				1533,76
195,4500	195,4500	195,4500		1533,86
195,4375				1533,96
195,4250	195,4250			1534,05
195,4125				1534,15
195,4000	195,4000	195,4000	195,4000	1534,25
.
.
.
.
185,0000	185,0000	185,0000	185,0000	1620,50
184,9875				1620,61
184,9750	184,9750			1620,72
184,9625				1620,83
184,9500	184,9500	184,9500		1620,94
184,9375				1621,05
184,9250	184,9250			1621,16

184,9125				1621,27
184,9000	184,9000	184,9000	184,9000	1621,38
184,8875				1621,49
184,8750	184,8750			1621,60
184,8625				1621,71
184,8500	184,8500	184,8500		1621,81
184,8375				1621,92
184,8250	184,8250			1622,03
184,8125				1622,14
184,8000	184,8000	184,8000	184,8000	1622,25
184,7875				1622,36
184,7750	184,7750			1622,47
184,7625				1622,58
184,7500	184,7500	184,7500		1622,69
184,7375				1622,80
184,7250	184,7250			1622,91
184,7125				1623,02
184,7000	184,7000	184,7000	184,7000	1623,13
184,6875				1623,24
184,6750	184,6750			1623,35
184,6625				1623,46
184,6500	184,6500	184,6500		1623,57
184,6375				1623,68
184,6250	184,6250			1623,79
184,6125				1623,90
184,6000	184,6000	184,6000	184,6000	1624,01
184,5875				1624,12
184,5750	184,5750			1624,23
184,5625				1624,34
184,5500	184,5500	184,5500		1624,45
184,5375				1624,56
184,5250	184,5250			1624,67
184,5125				1624,78
184,5000	184,5000	184,5000	184,5000	1624,89

Fuente: (UIT-T G.694.1, 2002)

Ventajas de DWDM

- La principal ventaja de DWDM es que ofrece una capacidad de transmisión elevada.
- Ideal para uso en largas distancias y áreas de mayor densidad de clientes.
- Se pueden hacer pasivos hasta 32 canales.

- Hasta 160 canales con una solución activa.
- Las soluciones activas incluyen amplificadores ópticos EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) para lograr distancias más largas.
- Debido a que DWDM es una arquitectura de capa física, puede soportar transparencia en el formato de señal, tales como ATM (Asynchronous Transfer Mode), GbE (Gigabit Ethernet), ESCON, TDM, IP y Fiber Channel, con interfaces abiertas sobre una capa física común. Por lo mismo, puede soportar distintos Bit Rates.
- Escalabilidad.- DWDM puede apalancar la abundancia de fibra oscura en redes metropolitanas y empresariales, para rápidamente satisfacer la demanda de capacidad en enlaces punto-a-punto y en tramos de anillos ya existentes.
- Iniciación dinámica, rápida, simple y abastecimiento dinámico en las conexiones de redes, dada la necesidad de proveedores de brindar servicios de alto ancho de banda en el menor tiempo posible.

Desventajas de DWDM

- Las soluciones DWDM son costosas.
- Las soluciones DWDM activas requieren una gran cantidad de gastos de configuración y mantenimiento.
- Muy poca escalabilidad para implementaciones bajo 32 canales, se incurre en un costo alto por canal.

2.3.3 Multiplexación por división de longitud de onda ultra densa - UDWDM

La técnica UDWDM ofrece grandes ventajas en cuanto a cantidad de transmisión de datos. Es capaz de transmitir hasta 1022 canales diferenciados en contraste con tecnologías como DWDM que es capaz de transmitir máximo 160 canales. Es un tipo de multiplexación con aplicaciones en redes a nivel internacional, de grandes distancias. Por esto, se hace necesario como una de las características importantes el uso de amplificadores dopados con Erblio.

Esta técnica está siendo utilizada en estudios que evolucionarían las redes PON (Passive Optical Network), tal como se muestra en el figura 2.8 según el estudio de (Arevalo, Hincapié, & Gaudino, 2017), evalúan la implementación óptima de la red en una serie de diferentes escenarios de demanda de velocidad de bits mínima

garantizada, empleando mapas realistas de una gran ciudad para comparar costos y representar algunos puntos de referencia para decidir en qué escenario una tecnología específica constituye la mejor opción.

Parameter	PON Technology			
	GPON	XGPON	NGPON2	UDWDM PON
Max. link length [km]	40	40	40	100
Max. ODN loss [dB]	35	35	35	43
Users per OLT tranceiver	64	64	64	256
Number of wavelengths	1	1	4	256
DS bit rate per OLT [Gb/s]	2.5	10	40	256

Figura 2.8 Parámetros de tecnologías en redes PON
Fuente: (Arevalo, Hincapié, & Gaudino, 2017)

Esta técnica tiene una particularidad referente a las otras técnicas descritas anteriormente, ya que en lugar de transmitir canales de alta velocidad con espaciamentos de 50 o 100GHz, el WDM Ultra Denso transmite señales un poco más lentas en canales mucho menos espaciados. En otras palabras, con una densidad de canales mucho más alta.

En actuales estudios se ha propuesto el uso de un demultiplexador ultra denso que puede ser combinado con unos convencionales DWDM para separar múltiples canales. En la figura 2.9 se observa la separación de 320 canales que pueden ser transmitidos por un hilo de fibra óptica.

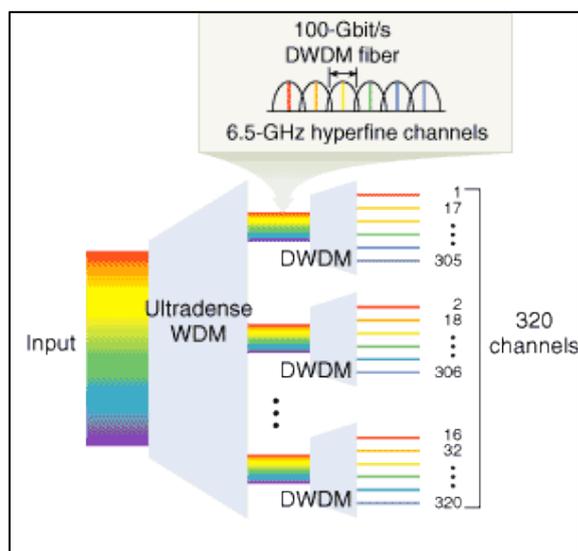


Figura 2.9 Técnica UDWDM de 320 canales
Fuente: (Lewis, 2002)

Ventajas de UDWDM

- El hecho de poder transmitir mayor información en un mismo medio como es la fibra óptica, hace posible el aprovechamiento y el surgimiento de nuevas aplicaciones para éste nuevo método de multiplexación.
- Ampliar la gama de espacio en la fibra óptica permite a las empresas de telecomunicaciones poder ampliar la escala de sus aplicaciones.
- Brinda mayor beneficio ampliar la capacidad del medio de transmisión existente y no tener que instalar mucha más fibra a lo largo de los mismos tramos para poder transmitir más información.

Desventajas de UDWDM

- El espaciado más estrecho de canales en el sistema de multiplexación UDWDM posee serios retos ópticos, y la mucha más lenta tasa de datos por transmitir requiere más canales para poder transmitir la misma capacidad.
- Si bien es cierto, UDWDM tiene una gran capacidad de transporte de información, es importante notar que los elementos necesarios para la transmisión a nivel de espaciados entre canales tan pequeños traen consigo un gran costo económico.

Una vez que se ha realizado el análisis de cada una de las técnicas de multiplexación se muestra una tabla comparativa.

Tabla 1.3 Comparación de los métodos de multiplexación WDM

Parámetro	CWDM	DWDM	UDWDM
Espectro	O, E, S, C, L	C, L, S	C, L
Separación	Frecuencia	Longitud de onda	Longitud de onda
Canales por fibra	4-16	80-160	1022
Espaciado entre canales	2500 GHz	50-100GHz	2.5, 5, 12.5 GHz
Capacidad por canal	2,5 Gbps	10-40 Gbps	2.5, 5, 10 Gbps
Capacidad total de la fibra	20-40 Gbps	< 1 Tbps	> 1 Tbps
Distancia	80 Km	Miles Km	Miles Km
Costo	Bajo	Medio	Alto
Amplificación óptica	Ninguna	EDFA, Raman	EDFA
Tipo de laser	Uncooled DFB	Cooled DFB	Cooled DFB

Elaborado por: Autor

2.4 Límites de Ancho de Banda

Los mismos principios fundamentales que aplican para WDM son aplicados en UDWDM. La tasa máxima de información posible en un canal óptico depende de la modulación del ancho de banda del transmisor y el ancho del canal óptico. La acción de modulación inevitablemente amplía el ancho de línea de una señal portadora, pura y nominal.

Sistemas de UDWDM y DWDM convencionales pueden tener una comparable eficiencia espectral. Generalmente el pico espectral de eficiencia es de aproximadamente 0.4 bit/Hz del ancho espectral.

Mientras una señal de 40Gbits/seg puede entrar en un canal DWDM de 100GHz, cuatro señales de 10Gbits/seg pueden entrar en canales de 25GHz. De la misma forma, dieciséis señales de 2.5Gbit/seg pueden entrar en un canal de 6.25GHz de UDWDM (Montero, 2004), como se observa en la figura 2.9

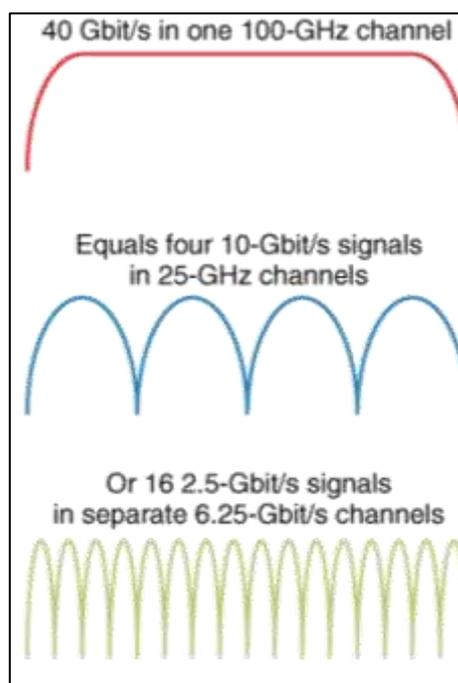


Figura 2.10. Espaciado entre canales DWDM y UDWDM (Laser Focus World, 2012)

2.5 Parámetros de evaluación

Para el análisis del comportamiento de los enlaces de transmisión, frecuentemente se utilizan diversas técnicas y mediciones de desempeño, como por ejemplo la medición del Bit Error Rate (BER), el cuál determina, en cierta medida, la calidad

del enlace de transmisión. Otra forma de medir el desempeño del enlace es obteniendo la relación Señal a ruido (SNR) o bien la atenuación que experimenta una señal entre el extremo transmisor y el receptor, obteniendo así importantes datos, como la calidad de componentes utilizados en el enlace (equipos de transmisión, recepción, cables, etc.). Debido a ello existen muchas técnicas y sistemas de medición para obtener las características propias del enlace, pero en determinadas circunstancias y frente a distintos problemas que se presentan en la comunicación, muchas de ellas no son apropiadas para determinar el origen del problema o visualizarlos. En este sentido se hace imprescindible el análisis de las formas de onda de los pulsos que se propagan en un enlace de comunicaciones, para lograr observar sus formas, desfases (jitter), niveles de ruido, potencias de las señales, etc. El análisis de todas estas características reunidas en un diagrama (patrón) da origen a lo que se conoce como Diagrama de Ojo o bien Patrón de Ojo, muy utilizado en telecomunicaciones. A continuación, se detalla cada uno de los parámetros con los cuales se evaluará el comportamiento de cada técnica de multiplexación.

2.5.1 BER (Bit Error Rate).- definido como la cantidad de errores de bit que ocurren dentro del espacio de un segundo. Esta medición es una de las consideraciones principales para determinar la calidad de la señal. Cuanto mayor sea la velocidad de transmisión de datos, mayor será el estándar. En la transmisión de telecomunicaciones, la BER es el porcentaje de bits que tienen errores en relación con el número total de bits recibidos en una transmisión, generalmente expresados como diez a una potencia negativa.

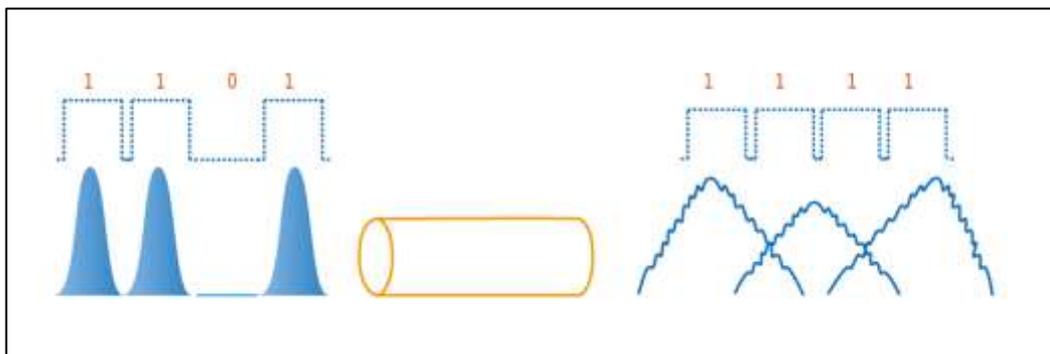


Figura 2.11 BER - Tasa de error de bit
Fuente: (Timbercon, 2019)

La norma ITU-T G.959.1 recomienda una BER de 1×10^{-12} para garantizar el correcto reconocimiento de bits a una tasa de 10 Gbps (UIT-T G. , 2018).

2.5.2 Diagrama de Ojo. - Es muy utilizado en el análisis de formas de ondas en telecomunicaciones digitales, corresponde esencialmente, a un diagrama que muestra la superposición de las distintas combinaciones posibles de unos y ceros en un rango de tiempo o cantidad de bits determinados. Dichas señales transmitidas por el enlace, permiten obtener las características de los pulsos que se propagan por el medio de comunicación, sean estos por medio de fibra óptica, coaxial, par trenzado, enlaces satelitales, etc. (Dinamarca, 2002)

2.5.3 Optical Signal-to-Noise Ratio OSNR. - La relación de señal óptica a ruido se utiliza para cuantificar el grado de interferencia de ruido óptico en señales ópticas. Es la relación entre la potencia de la señal de servicio y la potencia de ruido dentro de un ancho de banda válido. La ITU-T establece un valor OSNR mínimo de 21 dB para aplicaciones de larga distancia con una separación de 100 GHz, de la clase NRZ (Non Return to Zero) 10G. (UIT-T G. , 2009)

2.5.4 Factor Q.- El factor Q mide la calidad de una señal de transmisión analógica en términos de su relación señal/ruido (SNR). Como tal, se tiene en cuenta las deficiencias físicas de la señal, por ejemplo el ruido, la dispersión cromática y cualquier efecto de polarización o no lineal, que puede degradar la señal y, en última instancia, causar errores de bits. En otras palabras, cuanto mayor sea el valor del factor Q mejor SNR y, por tanto, menor será la probabilidad de errores de bits.

Específicamente, el factor Q da la mínima relación señal a ruido (SNR) requerida para obtener un BER específico para una señal eléctrica dada. Mientras más alto es el valor de Q mejor es la razón de error de bit. Los valores típicos de Q son de 6 a 8 dB. (Pinedo & Ruiz, 2017).

CAPITULO 3. SIMULACIÓN EN OPTISYSTEM

3.1 Generalidades de la simulación.

Para la simulación de la red propuesta se utiliza el software Optisystem en su versión 16 de la empresa Optiwave Design Software, el cual permite simular el diseño de redes ópticas bajo ciertas características y está enfocado al diseño de redes ópticas de última generación.

OptiSystem proporciona la capacidad de realizar un esquema virtual de cualquier tipo de enlace óptico en la capa física, además efectuar análisis de un gran número de redes de diferentes niveles de complejidad.

Permite a los usuarios planificar, probar y simular (tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia):

- Diseños de redes ópticas que incluyen OTDM (Optical Time Domain Multiplexing) anillos SONET/SDH (Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy), CWDM, DWDM, PON, Cable, OCDMA (Optical Code-Division Multiple-Access System).
- Transmisión monomodo/multimodo.
- Sistemas ópticos en el espacio libre (FSO, Free-Space Optical). Radio sobre fibra (ROF, Radio Over Fiber), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).
- Amplificadores y láser (EDFA, SOA (Service Oriented Architecture), Raman, Híbrido, optimización GFF, láser de fibra).
- Procesamiento de señal (eléctrico, digital, totalmente óptico).
- Diseño del subsistema transmisor y receptor (directo / coherente).
- Formatos de modulación (RZ (Return to Zero), NRZ, CSRZ (Carrier-Suppressed Return-to-Zero), DB, DPSK (Differential Phase Shift Keying), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), DP-QPSK (Dual-Polarization Quadrature Phase Shift Keying), PM-QPSK (Polarization Multiplexed-Quadrature Phase Shift Keying), QAM-16 (Quadrature Amplitude Modulation), QAM-64).

- Análisis de rendimiento del sistema (diagrama del ojo / factor Q / BER, potencia de señal / OSNR, estados de polarización, diagramas de constelación, penalizaciones lineales y no lineales).
- Proporciona información global sobre el rendimiento del sistema.
- Evalúa las sensibilidades de los parámetros que ayudan a las especificaciones de tolerancia de diseño.
- Presenta visualmente opciones de diseño y escenarios para clientes potenciales.
- Ofrece acceso directo a amplios conjuntos de datos de caracterización del sistema.
- Proporciona barrido automático de parámetros y optimización.
- Se integra con la familia de productos Optiwave.

3.2 Componentes de la simulación

El esquema de simulación OptiSystem ofrece elementos similares a los que se utiliza en la práctica, además de ello es importante destacar que se puede establecer los valores reales de atenuación a cada módulo; estos valores se encuentran establecidos en las hojas técnicas de los equipos.

Para la simulación de los escenarios propuestos en esta investigación se ha utilizado los siguientes módulos:

3.2.1 Transmisor óptico.

En la figura 3.1 se muestra como está formado el componente de transmisión óptica y el módulo **WDW Transmitter** que permite utilizar Optisystem con los escenarios de DWDM y UDWDM.

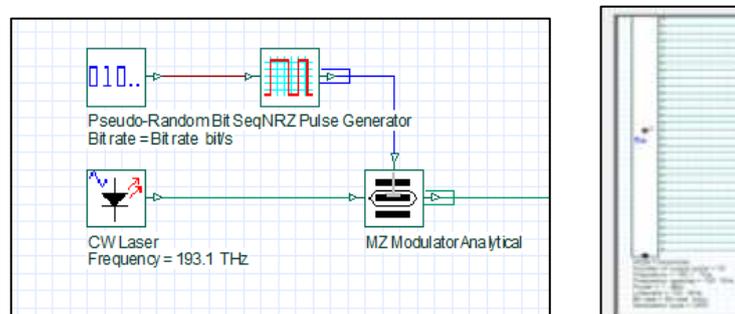


Figura 3.1 Transmisor WDM y el módulo WDW Transmitter

Elaborado por: Autor

Características WDM TRANSMITTER:

Número de canales: 32

Frecuencia: 193.1 THz

Frecuencia de espaciamento: 100 GHz (DWDM)

Potencia: 1dBm

Se detalla a continuación la función que cumple cada elemento:

- Generador de secuencias de bits (Pseudo-Random Bit Sequence): el presente elemento permite generar una secuencia binaria pseudo aleatoria, de acuerdo con diferentes modos de operación. La secuencia de bits está diseñada para aproximar las características de los datos aleatorios.
- Codificador NRZ (NRZ Pulse Generator): Este elemento se encarga de generar una señal codificada de no retorno a cero. A la salida de este módulo se tendrá la modulante eléctrica.
- CW Laser: Genera una señal óptica de onda continua. Trabaja como portadora óptica para el proceso de modulación posterior. Se debe configurar para que pueda operar a una longitud de onda (nm) adecuada o su equivalente en frecuencia (Hz).
- Interferómetro de Match Zehnder: Simula un modulador Mach-Zehnder utilizando un modelo analítico. A este modulador llega la señal eléctrica enviada por el modulador NRZ y la modula a la portadora óptica recibida del CW láser.

3.2.2 Multiplexor óptico.

En la figura 3.2 se muestra el modulo denominado WDM MUX, el cual se encuentra conectado directamente con las 32 salidas del transmisor WDM y la característica como lo dice su nombre es multiplexar esos 32 canales y obtener un único canal de salida. Las frecuencias centrales de los filtros internos están igualmente espaciadas (ES).

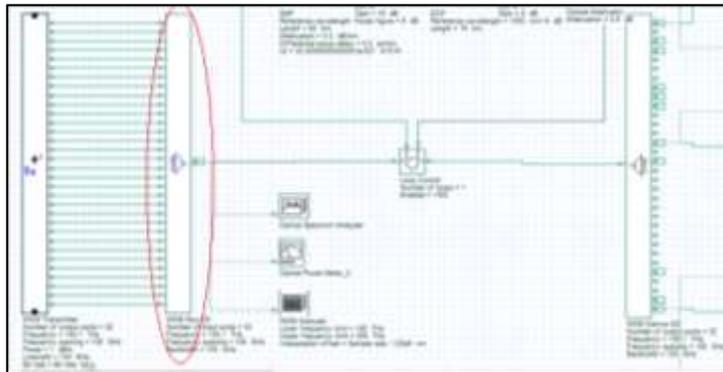


Figura 3.2 Multiplexor WDM
Elaborado por: Autor

Parámetros WDM MUX:

Numero de puertos: 32

Frecuencia: 193.1 THz

Frecuencia de espaciamento: 100 GHz (DWDM)

Tipo de filtro: rectangular

Perdidas de inserción: 3.5 dB

3.2.3 Medio de transmisión

Fibra óptica.- el cable de fibra óptica utilizado para la simulación es monomodo (SMF).

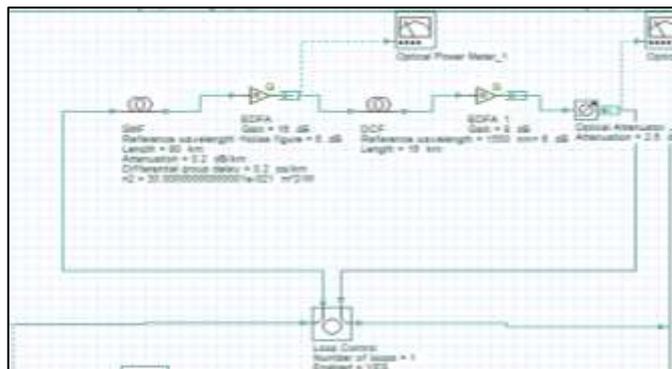


Figura 3.3 Medio de transmisión SMF
Elaborado por: Autor

Parámetros SMF:

Longitud: 80 Km

Longitud de onda: 1550 nm

Tipo de fibra: monomodo SMF

Atenuación: 0.20 dB/Km

Coefficiente o lineal: $30.00 \times 10^{-21} \text{ m}^2/\text{W}$

Se configura el índice de refracción no lineal para una fibra monomodo, este parámetro normaliza la aparición de los efectos no lineales en los sistemas de transmisión óptica. (Ordoñez, 2015).

Se considera luego de los 80 Km de fibra un amplificador óptico EDFA, con una ganancia de 16 dB, que compensará la atenuación por la fibra en ese recorrido (80 Km x 0.20 dB/Km).

El uso del módulo DCF deriva de la necesidad de **compensación de dispersión**. A velocidades de bits tan altas como 10 y 40Gbps, el diseño de la celda es crucial. Como muestra la figura 3.3 la distancia del enlace es de 80 km (la longitud de la fibra compensadora de dispersión (DCF, Dispersion Compensating Fiber) no está incluida). Esto significa que, durante la propagación, dentro de una celda, no solo hay una fuerte superposición entre los pulsos adyacentes, sino que la corriente de bits original se mezclará totalmente debido a la ampliación del pulso inducida por la dispersión. Este régimen de propagación conocido como "superposición de pulsos" es de gran importancia práctica, ya que en este caso el impacto de los efectos no lineales que tienen lugar debido a la interacción de los pulsos superpuestos que pertenecen a un mismo canal de información (conocido como intra -canalidades no lineales) se reduce. El concepto implica la propagación de los pulsos tanto como sea posible y tan rápido como sea posible en el dominio del tiempo para crear un patrón de intensidad que varíe rápidamente, para combatir el impacto de la no linealidad (UIT-T, 2014).

Debido a que el simulador no considera las pérdidas por los empalmes ópticos y pérdidas por conectores, se introduce un atenuador óptico, cuyo valor se ha calculado de la siguiente manera:

$P.\text{emp (dB)} = (\text{Numero de empalmes} \times \text{Pérdida por cada empalme}) + (\text{pérdida conectores})$.

$P.\text{emp (dB)} = (16 \times 0.10) \text{ dB} + (0.5 + 0.5) \text{ dB} = 2.6 \text{ dB}$

Nota: Se consideran bobinas de cable óptico de 5Km, comunes en el mercado.

3.2.4 Demultiplexor óptico

Como se muestra en la figura 3.4 el módulo **WDM DEMUX** se encarga de demultiplexar un número de canales de señal WDM definidos por el usuario (32 canales). Las frecuencias centrales de los filtros internos están igualmente espaciadas (ES).

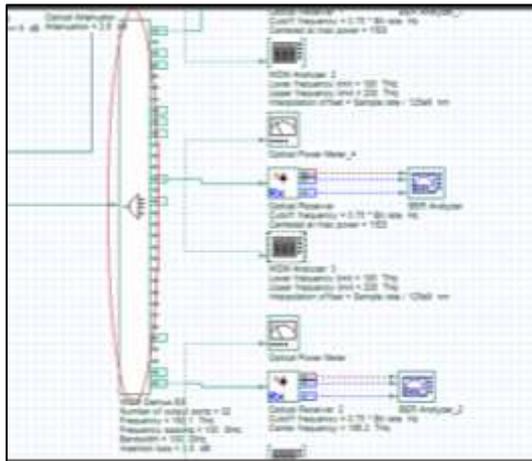


Figura 3.4 Demultiplexor óptico
Elaborado por: Autor

Parámetros WDM DEMUX:

Numero de puertos: 32

Frecuencia: 193.1 THz

Frecuencia de espaciado: 100 GHz (DWDM)

Tipo de filtro: rectangular

Perdidas de inserción: 3.5 dB

3.2.5 Etapa de Recepción

Se utiliza el modulo denominado **Optical Receiver**, este componente es un subsistema de receptor óptico construido utilizando un fotodetector PIN, un filtro Bessel y un regenerador 3R.

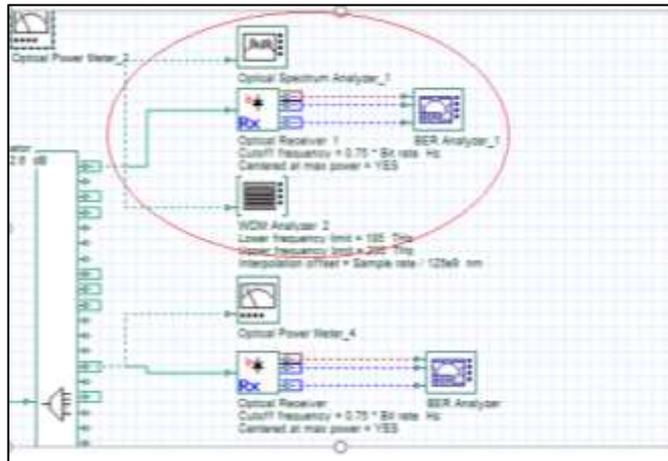


Figura 3.5 Etapa de recepción óptica
Elaborado por: Autor

Se han utilizado algunas herramientas de Optisystem que permiten obtener datos importantes de una simulación:

Módulo BER Analyzer.- Este visualizador permite al usuario calcular y mostrar la tasa de error de bit (BER) de una señal eléctrica automáticamente. Puede estimar la BER usando diferentes algoritmos como Gaussian y Chi-Squared y derivar diferentes métricas del diagrama del ojo, como el factor Q, apertura del ojo, cierre del ojo, relación de extinción, altura del ojo, fluctuación, etc. (Figura 3.6).

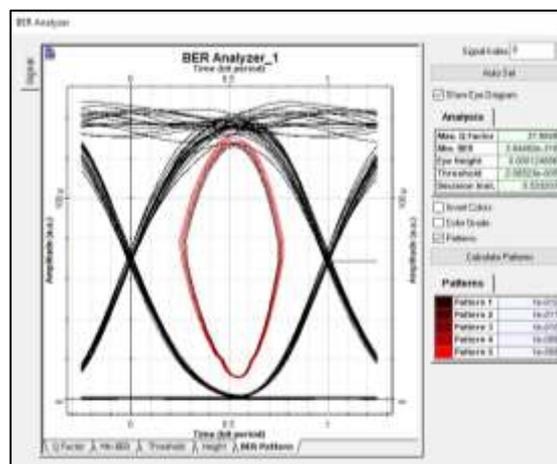


Figura 3.6 Analizador BER
Elaborado por: Autor

Optical Spectrum.- Este visualizador permite al usuario calcular y mostrar señales ópticas en el dominio de frecuencia. Puede mostrar la intensidad de la señal, la densidad espectral de potencia, la fase, el retraso del grupo y la dispersión para las polarizaciones X e Y, como se muestra en la figura 3.7

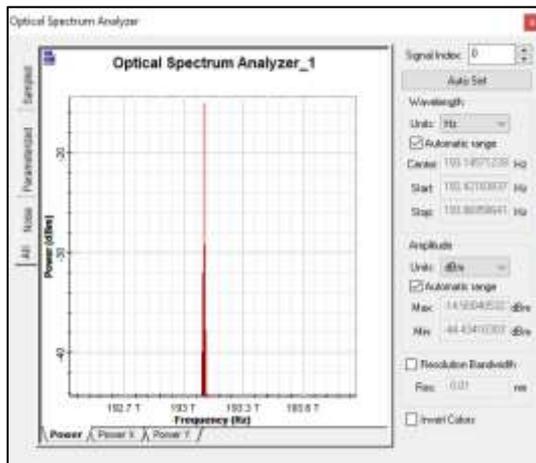


Figura 3.7 Analizador de espectro óptico
Elaborado por: Autor

WDM Analyzer.- Este visualizador detecta, calcula y muestra automáticamente la potencia óptica, el ruido, SNR, OSNR, frecuencia y longitud de onda para cada canal WDM en la entrada del visualizador (Figura 3.8).

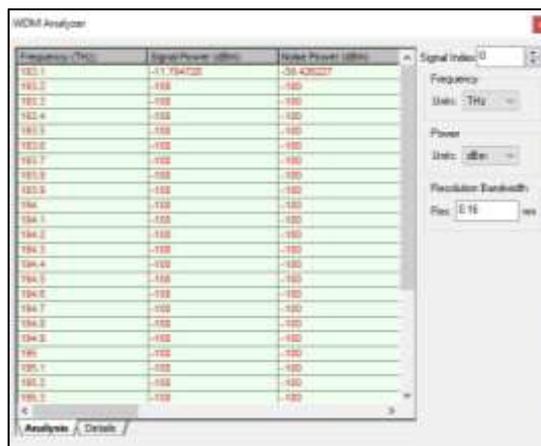


Figura 3.8 Analizador WDM
Elaborado por: Autor

Optical power meter.- Este visualizador permite al usuario calcular y mostrar la potencia promedio de las señales ópticas (Figura 3.9).



Figura 3.9 Medidor de potencia óptica.
Elaborado por: Autor

En la presente investigación se ejecuta la simulación de los siguientes escenarios:

Tabla 3.1 Escenarios de simulación con las diferentes técnicas de multiplexación

Técnica de multiplexación	Velocidad de canal (Gbps)	Espaciado de canal (GHz)	Distancia (Km)	Escenario
CWDM	2.5	2500	80	1a
	5.0	2500	80	1b
	10.0	2500	80	1c
DWDM	10	100	80	2a
	20	100	80	2b
	40	100	80	2c
UDWDM	2.5	12.5	80	3a
	5.0	12.5	80	3b
	10.0	12.5	80	3c

Elaborado por: Autor

CAPITULO 4. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Una vez que se ha elaborado los escenarios de simulación en el software Optisystem, se presenta los resultados de cada técnica de multiplexación y se analiza los resultados generados por las herramientas del simulador, tanto de CWDM, DWDM y UDWDM.

4.1 Resultados de la simulación CWDM

Escenario 1a:

Velocidad de canal	Espaciamiento	Distancia
2.5 Gbps	2500 GHz	80 Km

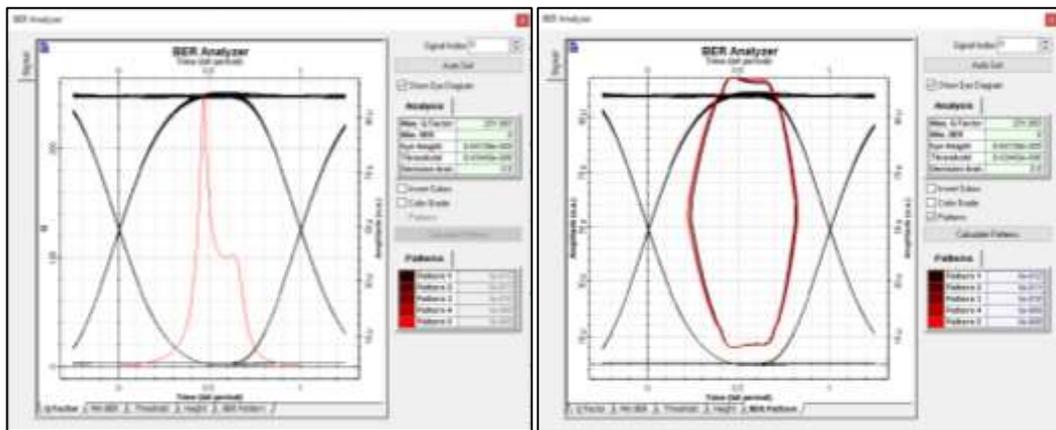


Figura 4.1 Factor Q y Patrón de Ojo - Escenario 1^a
Elaborado por: Autor

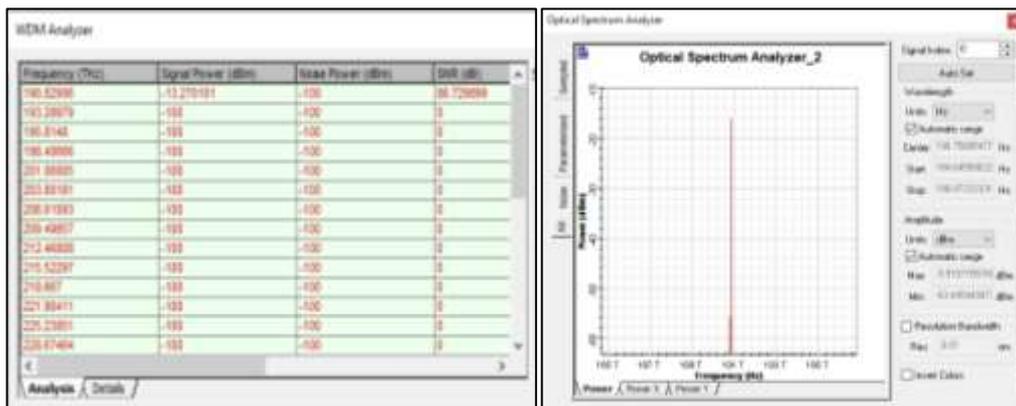


Figura 4.2 Analizador WDM y Analizador de espectro-Escenario 1a
Elaborado por: Autor



Figura 4.3 Potencia óptica - Escenario 1a
Elaborado por: Autor

Escenario 1b:

Velocidad de canal	Espaciamiento	Distancia
5 Gbps	2500 GHz	80 Km

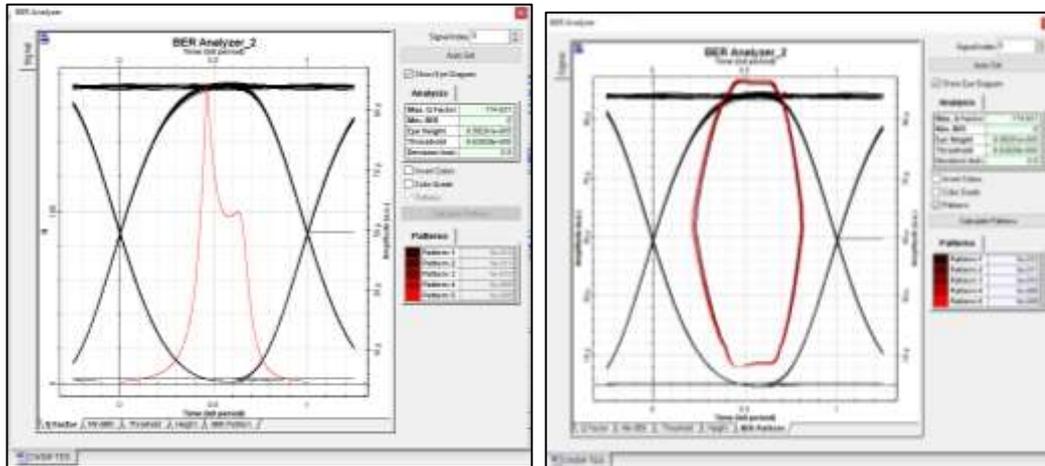


Figura 4.4 Factor Q y Patrón de Ojo - Escenario 1b
Elaborado por: Autor

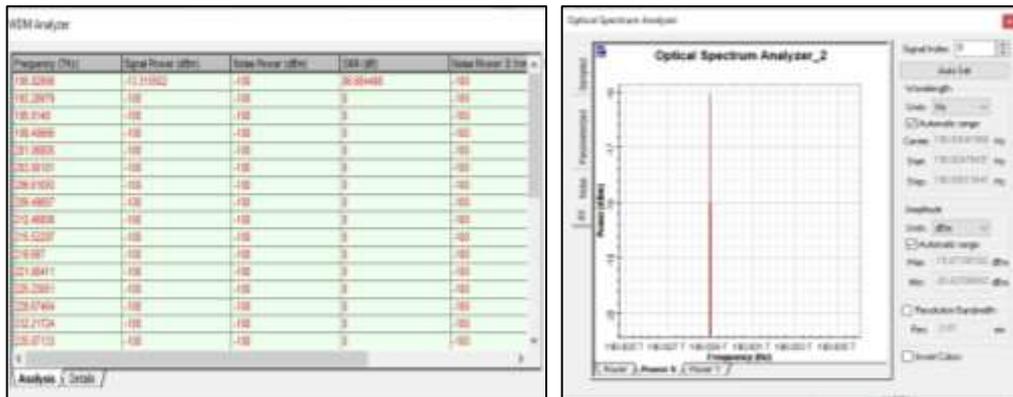


Figura 4.5 Analizador WDM y Analizador de espectro-Escenario 1b
Elaborado por: Autor



Figura 4.6 Potencia óptica – Escenario 1b
Elaborado por: Autor

Escenario 1c:

Velocidad de canal	Espaciamiento	Distancia
10 Gbps	2500 GHz	80 Km

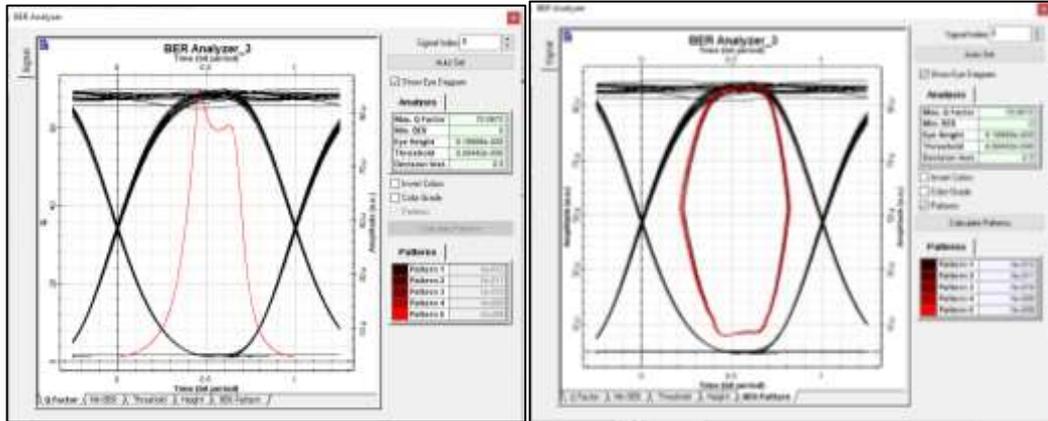


Figura 4.7 Factor Q y Patrón de Ojo - Escenario 1c
Elaborado por: Autor

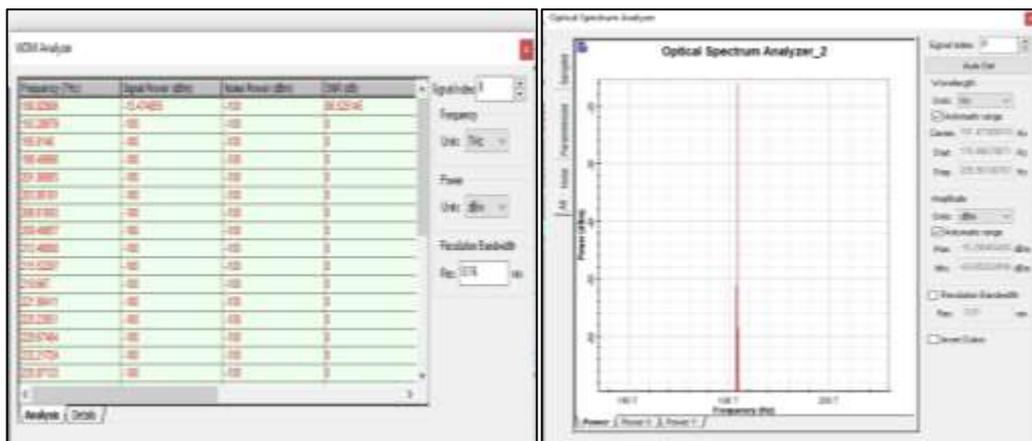


Figura 4.8 Analizador WDM y Analizador de espectro-Escenario 1c
Elaborado por: Autor



Figura 4.9 Potencia óptica - Escenario 1c
Elaborados por: Autor

4.1.1 Análisis de resultados CWDM

Con los resultados obtenidos de la simulación se establece la tabla 4.1

Tabla 4.1 Resultados de simulación de escenarios para CWDM con distancia de 80 Km y 2500 GHz de espaciado entre canales

Técnica de multiplexación	Velocidad de canal (Gbps)	Escenario	Factor Q	Min BER	OSNR (db)	Potencia (dBm)
CWDM	2.5	1a	251,98	0	86,72	-13,148
	5.0	1b	174,93	0	86,68	-13,150
	10.0	1c	70,60	0	86,52	-13,150

Elaborado por: Autor

- Se observa que el factor Q es inversamente proporcional a la velocidad del canal, es así que para una velocidad del canal de 2.5 Gbps se obtiene un factor $Q=251.98$ y para una velocidad de 10 Gbps se obtiene $Q=70.60$.
- Para los tres escenarios la BER es de 0 (no existen bit errados).
- La potencia y SNR se mantienen con valores muy aceptables y similares en los tres escenarios.
- De los resultados se puede apreciar que para los tres escenarios propuestos con la técnica de multiplexación CWDM es factible realizar la comunicación, con una multiplexación de 16 canales.

4.2 Resultados de la simulación DWDM

Escenario 2a:

Velocidad de canal	Espaciamiento	Distancia
10 Gbps	100 GHz	80 Km

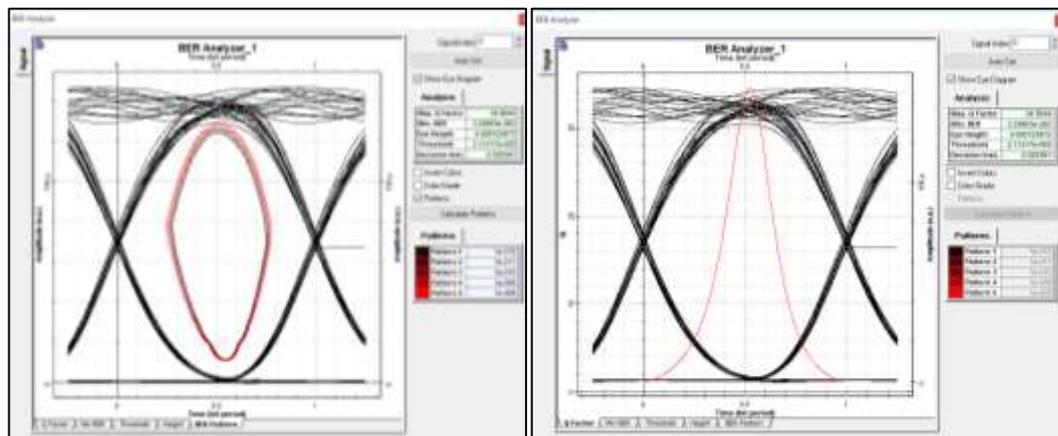


Figura 4.10 Factor Q y Patrón de Ojo - Escenario 2a.

Elaborado por: Autor

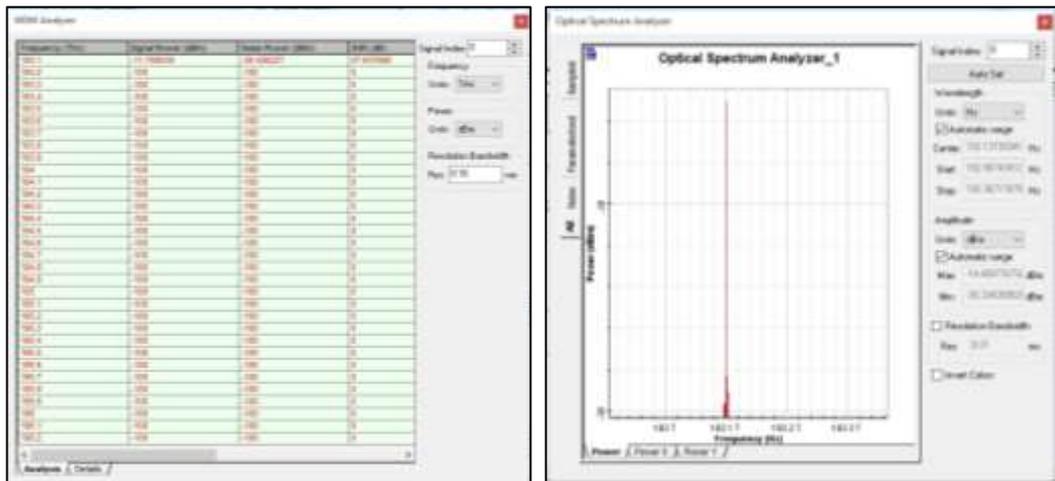


Figura 4.11 Analizador WDM y Analizador de espectro–Escenario 2^a
Elaborado por: Autor



Figura 4.12 Potencia óptica – Escenario 2a
Elaborados por: Autor

Escenario 2b:

Velocidad de canal	Espaciamiento	Distancia
20 Gbps	100 GHz	80 Km

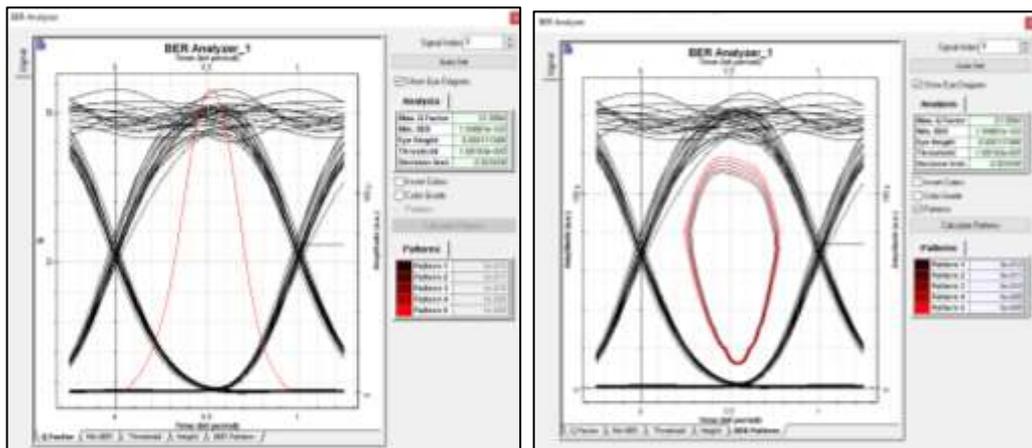


Figura 4.13 Factor Q y Patrón de Ojo - Escenario 2b
Elaborado por: Autor

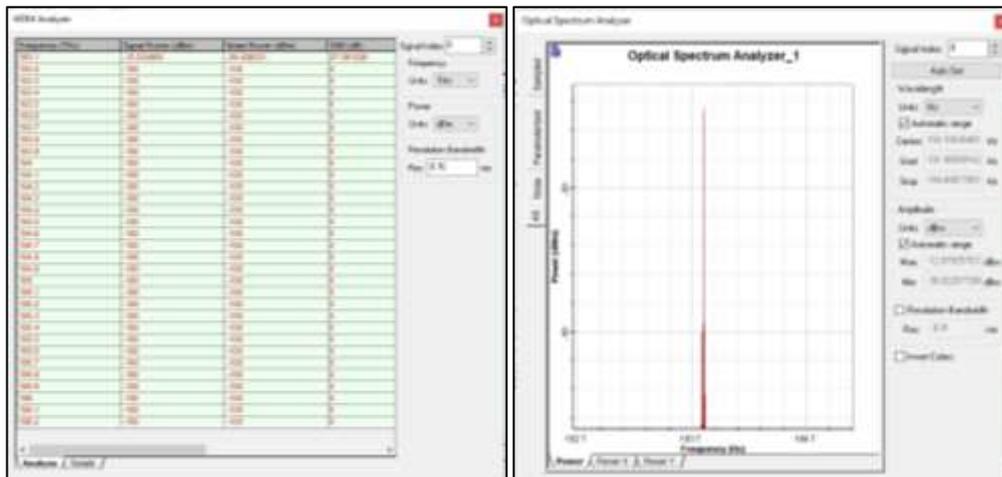


Figura 4.14 Analizador WDM y Analizador de espectro–Escenario 2b
Elaborado por: Autor

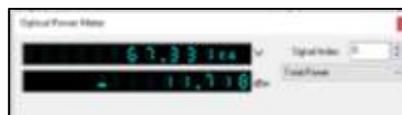


Figura 4.15 Potencia óptica – Escenario 2b
Elaborados por: Autor

Escenario 2c:

Velocidad de bit	Espaciamiento	Distancia
40 Gbps	100 GHz	80 Km

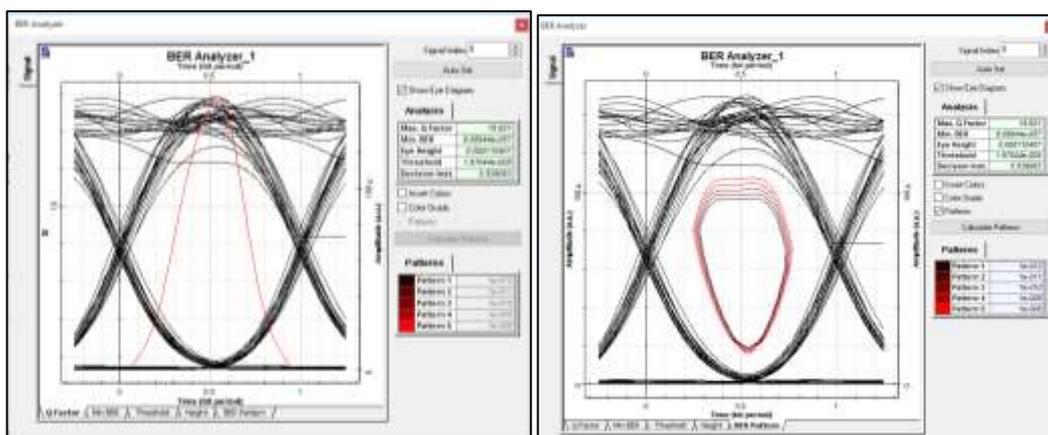


Figura 4.16 Factor Q y Patrón de Ojo - Escenario 2c
Elaborado por: Autor

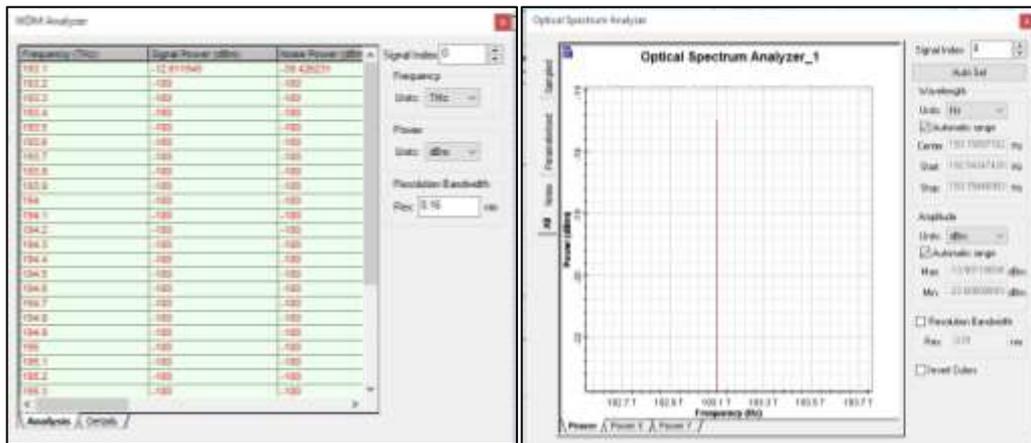


Figura 4.17 Analizador WDM y Analizador de espectro–Escenario 2c
Elaborado por: Autor



Figura 4.18 Potencia óptica – Escenario 2c
Elaborados por: Autor

4.2.1 Análisis de resultados para DWDM

Se analiza los tres escenarios para la técnica de multiplexación DWDM y la tabla 4.2 muestra sus resultados:

Tabla 4.2 Resultados de simulación de escenarios para DWDM con distancia de 80 Km y 100 GHz de espaciado entre canales

Técnica de multiplexación	Velocidad de canal (Gbps)	Escenario	Factor Q	Min BER	OSNR (db)	Potencia (dBm)
DWDM	10	2a	34,54	$3,24 \times 10^{-252}$	27,63	-11,528
	20	2b	21,55	$1,54 \times 10^{-153}$	27,39	-11,718
	40	2c	15,82	$8,09 \times 10^{-57}$	27,30	-11,578

Elaborado por: Autor

- Se observa que el factor Q es inversamente proporcional a la velocidad de canal, es así que para una velocidad de canal de 2.5 Gbps se obtiene un factor Q = 34.54 y para una velocidad de 10 Gbps se obtiene Q = 15.82.
- La tasa de error a bit es casi nula, se tiene un valor de $8,09 \times 10^{-57}$ como la tasa más alta, lo cual es insignificante para el equipo de recepción.

- La potencia y SNR se mantienen con valores similares en los tres escenarios y tienen valores muy aceptables.
- De los resultados se puede apreciar que para los tres escenarios propuestos con la técnica de multiplexación DWDM es factible realizar la comunicación.
- Es importante mencionar que para la simulación se utilizan 32 canales con espaciamiento de 100 GHz, es decir se ocupa 3.2 THz de ancho de banda.

4.3 Resultados de la simulación UDWDM

Escenario 3a:

Velocidad de canal	Espaciamiento	Distancia
2.5 Gbps	12.50 GHz	80 Km

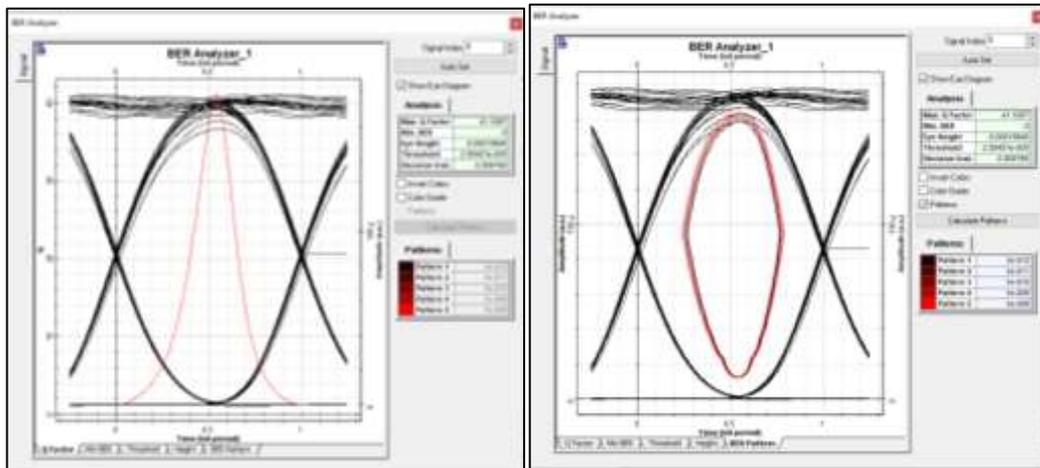


Figura 4.19 Factor Q y Patrón de Ojo - Escenario 3^a
Elaborado por: Autor

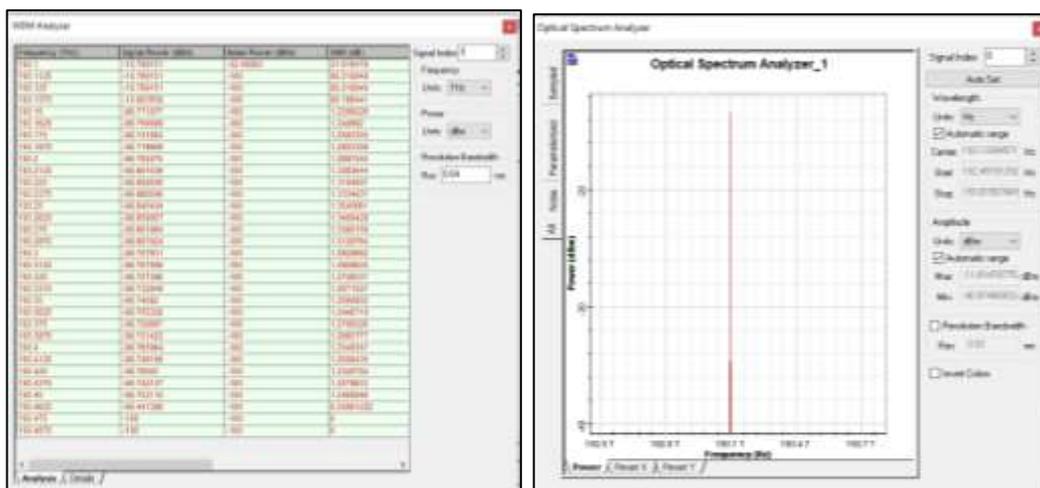


Figura 4.20 Analizador WDM y Analizador de espectro–Escenario 3^a
Elaborado por: Autor



Figura 4.21 Potencia óptica – Escenario 3a
Elaborados por: Autor

Escenario 3b:

Velocidad de canal	Espaciamiento	Distancia
5 Gbps	12.50 GHz	80 Km

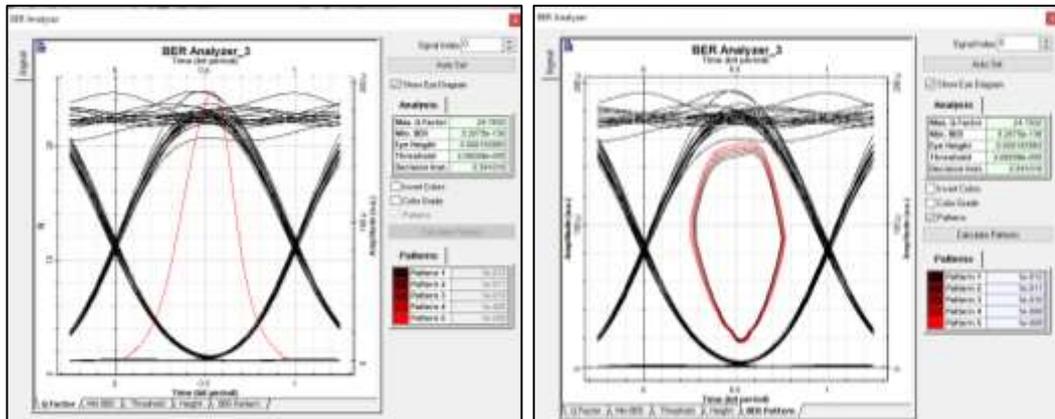


Figura 4.22 Factor Q y Patrón de Ojo - Escenario 3b
Elaborado por: Autor

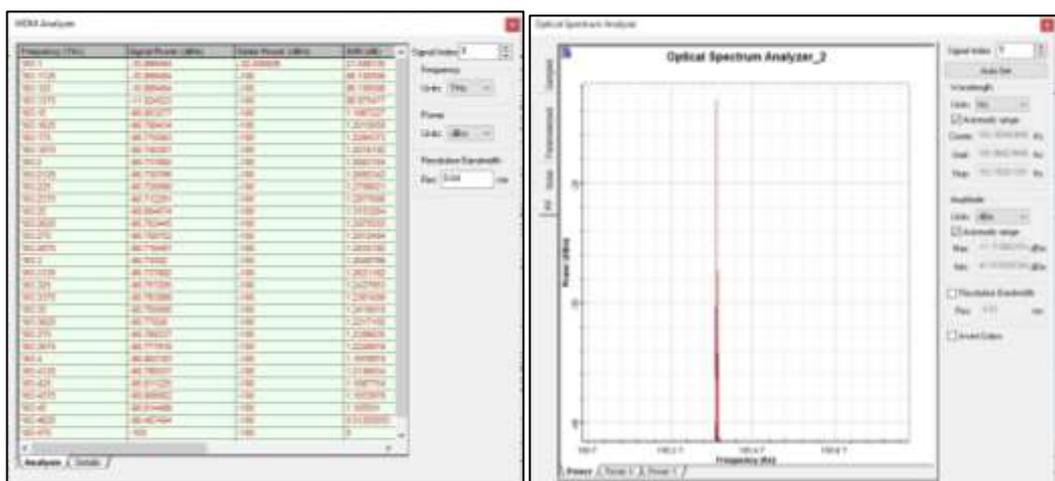


Figura 4.23 Analizador WDM y Analizador de espectro–Escenario 3b
Elaborado por: Autor

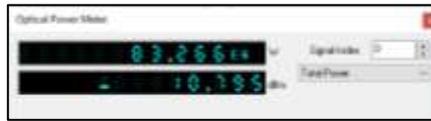


Figura 4.24 Potencia óptica – Escenario 3b
Elaborados por: Autor

Escenario 3c:

Velocidad de canal	Espaciamiento	Distancia
10 Gbps	12.50 GHz	80 Km

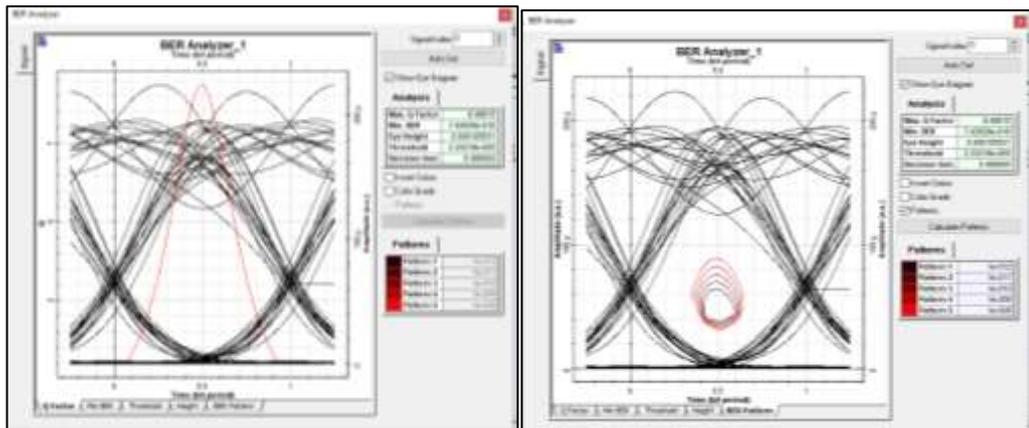


Figura 4.25 Factor Q y Patrón de Ojo - Escenario 3c
Elaborado por: Autor

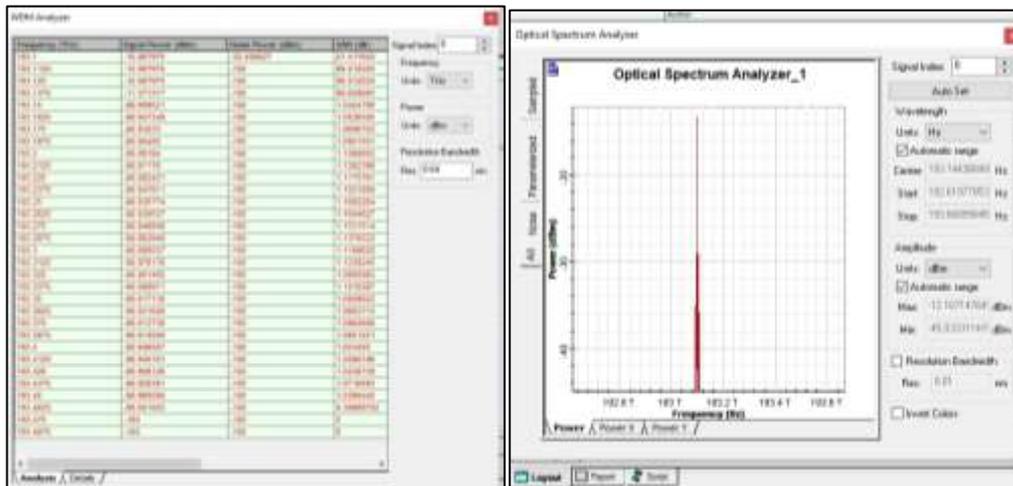


Figura 4.26. Analizador WDM y Analizador de espectro – Escenario 3c
Elaborado por: Autor

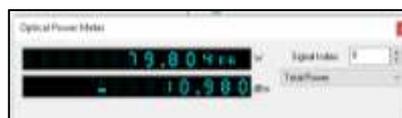


Figura 4.27. Potencia óptica – Escenario 3c
Elaborado por: Autor

4.3.1 Análisis de resultados para UDWDM

Por último, se analizan los resultados con la técnica de multiplexación UDWDM los cuales se detallan en la tabla 4.3

Tabla 4.3 Resultados de simulación de escenarios para UDWDM con distancia de 80 Km y 12.5 GHz de espaciado entre canales

Técnica de multiplexación	Velocidad de canal (Gbps)	Escenario	Factor Q	Min BER	OSNR (db)	Potencia (dBm)
UDWDM	2.5	3a	41,10	0	21,61	-10,81
	5.0	3b	24,78	$5,26 \times 10^{-136}$	21,50	-10,79
	10.0	3c	8,48	$7,42 \times 10^{-18}$	21,41	-10,98

Elaborado por: Autor

- De igual manera que en los anteriores escenarios se observa que el factor Q es inversamente proporcional a la velocidad de canal, es así que para una velocidad de canal de 2.5 Gbps se obtiene un factor $Q=41.10$ y para una velocidad de 10 Gbps se obtiene $Q=8.48$.
- Similar resultado se obtiene para la BER mientras que con 2.5 Gbps se obtiene $BER = 0$ (es decir que no existen bit perdidos en la transmisión), para la velocidad de 10 Gbps se obtiene $BER = 7.42 \times 10^{-18}$, sin embargo, cabe indicar que en todos los escenarios es posible realizar la transmisión ya que se obtiene un margen BER y potencia aceptable.
- En cuanto a OSNR, se mantiene con valores similares en los tres escenarios, y se encuentran dentro de los parámetros adecuados para establecer la comunicación en el medio óptico.
- De los resultados se puede apreciar que para los tres escenarios propuestos con la técnica de multiplexación UDWDM es factible realizar la comunicación, se deduce mediante la simulación que en los 80 km de distancia se puede dar servicio a 32 clientes, cada uno de ellos con una velocidad de canal de 10 Gbps.
- La simulación se ejecuta con 32 canales al igual que la técnica anterior, pero con la diferencia que el espaciamiento de canal es de 12.5 GHz, es decir se ocupa 0.4 THz de ancho de banda. Comparado con DWDM el uso de canal es 8 veces menor.

CONCLUSIONES

Una vez finalizado el trabajo de investigación es importante detallar las conclusiones que arrojan tanto el estudio como la simulación de las técnicas de multiplexación por división de longitud de onda:

1. En cuanto al análisis de las técnicas de multiplexación, se concluye que: CWDM se puede usar normalmente para aplicaciones que no requieren que la señal recorra grandes distancias y en lugares donde no se necesitan muchos canales. Mientras que para las aplicaciones que requieren una gran cantidad de canales o para aplicaciones de larga distancia, DWDM y UDWDM es la solución.
2. La evolución de este tipo de técnicas de multiplexación tales como: DWDM y UDWDM permiten reutilizar tendidos actuales de fibra óptica, evitando el despliegue de nuevos proyectos.
3. Se ejecuta de manera satisfactoria la simulación de los diferentes escenarios para cada una de las técnicas de multiplexación, obteniendo cuadros de resultados que han sido evaluados cada uno de ellos en el capítulo cuatro.
4. Mediante los resultados obtenidos de la simulación se puede concluir que la técnica UDWDM permite realizar efectivamente una comunicación por el medio óptico utilizando 32 canales separados por 12,5 GHz a una velocidad de 10 Gbps, lo cual comparado con el ancho de banda que consume CWDM se reduce muy considerablemente y es 8 veces menor al ancho de banda ocupado con DWDM. Por lo cual se deduce que UDWDM es la técnica que mejor respuesta brinda para la transmisión de gran ancho de banda.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con estudios de UDWDM en escenarios con una separación de canal menor a los 12.5 GHz, junto a todas las recomendaciones de la UIT-T.
- Así mismo se recomienda poder efectuar pruebas con equipos que utilicen este tipo de multiplexación UDWDM, para poder comparar con los resultados obtenidos en la simulación.
- Se recomienda realizar la simulación con otro software con la finalidad de que se puedan comparar los resultados con los del presente proyecto de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Arevalo, G., Hincapié, R., & Gaudino, R. (2017). *Optimization of multiple PON deployment costs and comparison between GPON, XGPON, NGPON2 and UDWDM PON*. Chicago.
- Dinamarca, J. (2002). *Informe de Teoría de Comunicaciones Digitales*. Chile: Universidad Técnica Federico Santa María .
- Direkt, P. D. (2016). *Pandacomdirekt*. Obtenido de www.pandacomdirekt.com
- Fiberstore. (2017). *Fiber Optic Solutions*. Obtenido de <http://www.fiber-optic-solutions.com/use-wdm-fiber-capacity-expansion.html>
- Hesselbach, X., & Altés, J. (2002). *Análisis de redes y sistemas de comunicaciones*. Barcelona: Edicions UPC.
- Laser Focus World. (2012). *Laser focus world*. Obtenido de <https://www.laserfocusworld.com/optics/article/16552261/speeding-up-transmission-rates-with-slower-signals>
- Lewis, J. (2002). *Speeding up transmission rates with slower signals*. Obtenido de Laser Focus World: <https://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-38/issue-11/features/optical-networking-ultradense-wdm/speeding-up-transmission-rates-with-slower-signals.html>
- Montero, D. (2004). *Ventajas de la nueva tecnología de comunicaciones UDWDM*. San Pedro de Montes de Oca.
- Ordoñez, A. (2015). *Diseño y simulación de los efectos de FWM en uan red GPON*. Quito.
- Pinedo, E., & Ruiz, L. (2017). *Estimación de la influencia de la longitud del enlace sobre La Interferencia Intersimbolica en un sisteme óptico, mediante simulación*. Trujillo - Perú.

- Rhebi, S., & Najjar, M. (2017). *Design and Analysis of a 2Tb/s UDWDM System based on The Combination of Advanced Modulation Techniques and Multi-diagonal Code*. Tunes: IEEE.
- Timbercon, I. (2019). *Timbercon Inc.* Obtenido de <http://www.timbercon.com/BER-Bit-Error-Rate.html>
- UIT-T. (2014). Una visión general de las ciudades inteligentes sostenibles y el papel de las tecnologías de la información y comunicación. 1-05.
- UIT-T G.694.1. (2002). *G.694.1 SERIE G: Sistemas y medios de transmisión, Sistemas y Redes Digitales*.
- UIT-T, G. (2003). *G.649.2 SERIE G: Sistemas y medios de transmisión, Sistemas y Redes Digitales*.
- UIT-T, G. (2009). *G698.2 SERIE G: Sistemas y medios de transmisión, Sistemas y Redes Digitales*.
- UIT-T, G. (2018). *G.959.1 SERIES G: Transmission systems and media, digital systems and networks*.

GLOSARIO

ATM Asynchronous Transfer Mode (Modo de transferencia Asíncrona)

BER Bit error rate (Tasa de error binario).

CSRZ Carrier-Suppressed Return-to-Zero (Retorno a cero suprimido por el operador).

CWDM Coarse Wavelength Division Multiplexing (Multiplexación por división aproximada de longitud de onda).

DFB *Distributed* FeedBack (Láser de realimentación distribuida)

DWDM *Dense Wavelength Division Multiplexing* (Multiplexación por división de longitud de onda densa).

DPSK Differential Phase Shift Keying (Modulación por desplazamiento diferencial de fase).

FDM Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por división de frecuencia).

FSO Free-Space Optical (Espacio libre óptico).

IPTV Internet Protocol Television (Televisión por Protocolo de Internet).

NRZ Non return to zero (No Retorno a cero).

OCDMA Optical Code-Division Multiple-Access System.

OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por división de frecuencia ortogonal).

QAM Quadrature Amplitude Modulation (modulación de amplitud en cuadratura)

QPSK Quadrature Phase Shift Keying (Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura)

OTDM Optical Time Domain Multiplexing (Multiplexación por división de tiempo óptico).

SDH Synchronous Digital Hierarchy (Jerarquía digital síncrona)

SONET Synchronous Optical Network (Red óptica sincronizada)

SNR Signal to Noise Ratio (Relación Señal a Ruido)

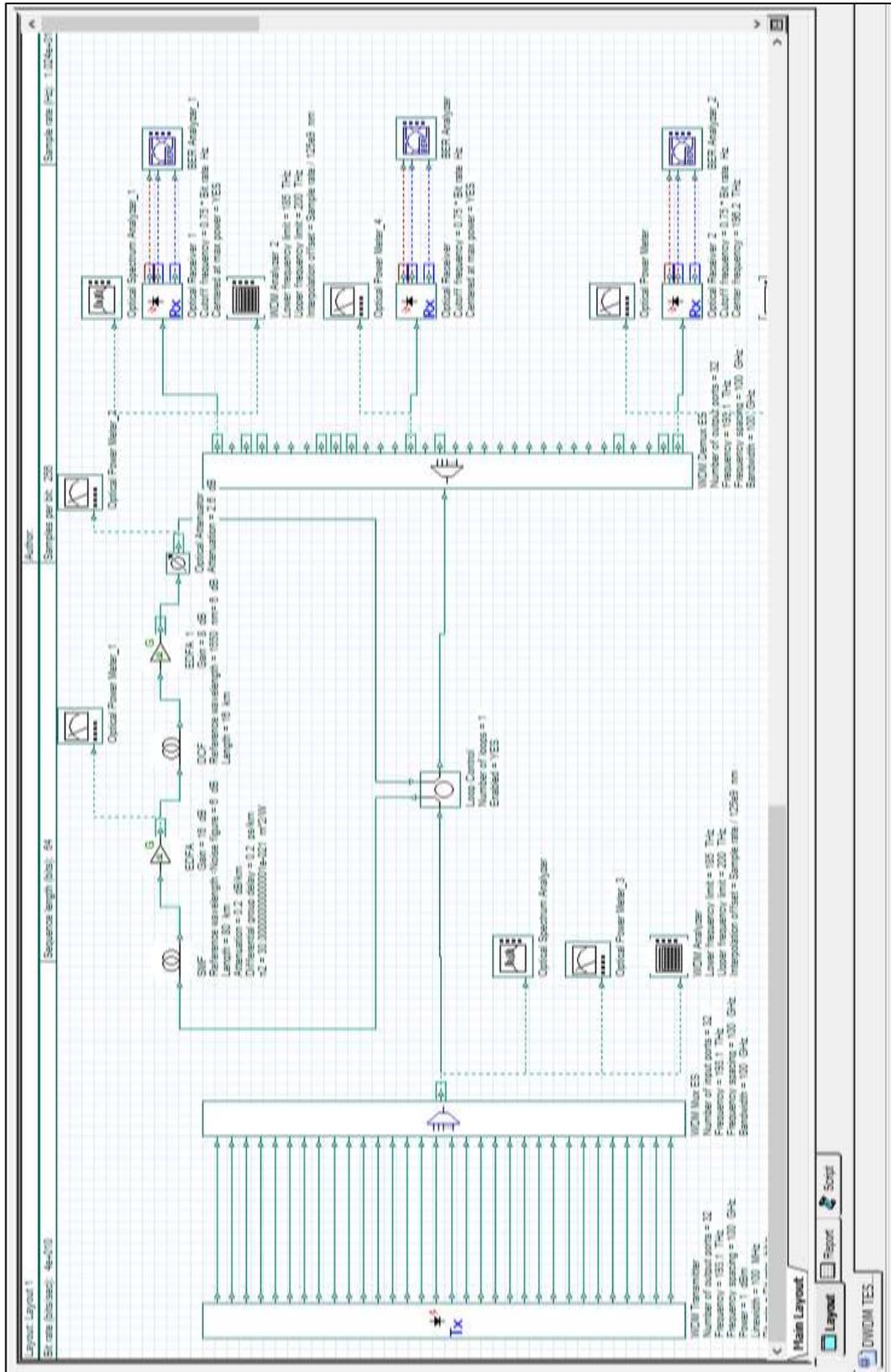
TDM Time Division Multiple (Multiplexación por división de tiempo).

UDWDM Ultra-dense Wavelength-division Multiplexing (Multiplexación por división de longitud de onda ultra densa).

UIT International Telecommunication Union (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

WDM Dense Wavelength Division (Multiplexación por división de longitud de onda)

Anexo 2. Esquema de simulación DWDM en Optisystem 16.1





DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Jimmy Francisco Sánchez Herrera, con C.C: # 1717275489 autor del trabajo de titulación: **Análisis comparativo de las técnicas de Multiplexación por división de longitud de onda (WDM) y su simulación mediante el software Optisystem**, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 4 de marzo del 2020

f. _____

Nombre: **Jimmy Francisco Sánchez Herrera**

C.C: 1717275489



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis comparativo de las técnicas de Multiplexación por división de longitud de onda (WDM) y su simulación mediante el software Optisystem.		
AUTOR(ES)	Jimmy Francisco Sánchez Herrera		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Córdova Rivadeneira Luis / Philco Asqui Orlando / Romero Paz Manuel		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
CARRERA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	4 de marzo del 2020	No. DE PÁGINAS:	50
ÁREAS TEMÁTICAS:	Fibra óptica, multiplexación, longitud de onda, ancho de banda, Optisystem,		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	DWDM, CWDM, UDWDM, BER, SNR, OSNR		
RESUMEN:	<p>El presente trabajo de titulación tiene por finalidad realizar el análisis de las técnicas de WDM (Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División de Longitud de Onda), y su posterior simulación. En primera instancia se realiza el estudio teórico de cada una de las técnicas como lo son: CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División Aproximada de Longitud de Onda), DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing, Multiplexado Denso por División en Longitudes de Onda) y UDWDM (Ultra- Dense Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División de Longitud de Onda Ultra Densa) mostrando sus ventajas y desventajas con lo cual se procede a realizar un cuadro comparativo de las mencionadas técnicas. Luego de ello se propone la simulación en Optisystem de distintos escenarios variando la separación entre canales que diferencia a estas técnicas, lo cual permite observar su comportamiento. Se obtienen los resultados para cada una de las técnicas de multiplexación y dependiendo de la aplicación requerida se utilizará en la práctica. Se observa en la etapa de resultados que UDWDM es la técnica que más se destaca debido a la menor separación de canales lo cual permite tener mayores longitudes de onda y por ende mayor ancho de banda del canal.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 593-990043873	E-mail: jimmy.sanchez1@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):::	Nombre: Romero Paz Manuel de Jesús		
	Teléfono: +593-994606932		
	E-mail: manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			